BHS
III
48

Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke
Aktiengesellschaft
Bibliothek:
Gruppe: III
B.Nr. 48

BHS III 48

902 6 ell

III 13 mm
48

Morin's Hilfsbuch

des

praktischen Mechanikers

zum Gebrauche

von

Artillerieoffizieren, Civil- und Militäringenieuren,

deutsch bearbeitet

von

C. Holtzmann,

Professor der Mathematik und Physik am Großherzogl. Lyceum zu Mannheim.

Mit 61 Figuren.

BIBLIOTHEK DER K. GENERAL BERGW.U.SALINEN ADMINISTR.

Zweite Auflage

der deutschen Bearbeitung, mit Zugrundelegung der dritten des Originals.

BIBLIOTHEK DER K. GENERAL BERGW.U.SALINEN ADMINISTR.

Karlsruhe.

Druck und Verlag von Christian Theodor Groos.

1844.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorrede.

Herr Arthur Morin, Artillerie-Kapitän, bei uns durch seine Versuchsreihen über Reibung, über Fuhrwerke ꝛc. vortheilhaft bekannt, hat in dem Werke, von dessen deutscher Bearbeitung hier die zweite Auflage vorliegt, die Sätze und Formeln gesammelt, welche dem Maschinenbauer, der Gewißheit des Erfolgs seiner Konstruktionen haben will, jeden Augenblick unerläßlich sind. Es sind dabei die Formeln ohne Ableitung hingestellt, nur ihre jedesmalige Bedeutung angegeben und ihre Anwendung durch Beispiele erläutert, welche meist von ausgeführten Bauten hergenommen, und im Resultate mit der Beobachtung verglichen sind.

Diese praktischen Formeln und Regeln sind auf theoretische Betrachtungen gegründet und in den Coefficienten nach vielfältigen, wohl überlegten Versuchen bestimmt. Dabei hat Morin hauptsächlich die Vorlesungen von Poncelet über Maschinen an der Artillerie und Ingenieurschule zu Metz, die Noten von Navier zu der architecture hydraulique von Belidor und dessen Vorlesungen an der école des ponts et des chaussées benutzt.

Die Regeln und Formeln über die Bewegung des Wassers und der Gase sind aus dem sechsten Theile des Curses von Poncelet und einigen späteren Mittheilungen dieses Gelehrten gezogen. Morin hat hierzu einige Regeln über die Entleerung der Teiche gefügt und einige Beispiele über Schifffahrtsschleußen dem Lehrbuche von d'Aubuisson entlehnt. Neu hinzugekommen sind in dieser Auflage die Tafeln über die Vertheilung des Wassers in Städten. Sie sind eine Nachahmung und Erweiterung der Tafeln, die der jetzige Direktor der Wasserleitung zu Paris für diese berechnet hatte.

Die Formeln zur Berechnung des Nutzeffektes des Wassers sind die, welche in dem siebten Theile des Curses von Poncelet und in den Vorlesungen von Navier abgeleitet sind, nachdem darin die numerischen Coefficienten nach den von Poncelet über die Räder mit krummen Schaufeln und von Morin über Räder mit ebenen Schaufeln und mit Zellen angestellten und bekannt gemachten Beobachtungen bestimmt wurden. Dieses Capitel enthält auch einige Erfahrungen über Turbinen von Morin, und Regeln zur Anordnung derselben von mir.

Den Nutzeffekt der Dampfmaschinen gibt Morin in Formeln, welche Poncelet aufgestellt hat. Ich habe es vorgezogen, dafür Formeln zu setzen, wie sie aus der gewiß dem physikalischen Vorgange mehr entsprechenden Theorie der Dampfmaschine von de Pambour folgen.

Die von Watt und seinen Nachfolgern befolgten Regeln über die Construktion von Dampfmaschinen mit niederm Drucke sind aus dem Werke von Farey übersetzt.

Die praktischen Regeln zur Bestimmung des Gewichtes und der Dimensionen der Schwungräder sind direkten Betrachtungen und der Beobachtung mehrerer Maschinen im Gange entnommen. In Bezug auf Dampfmaschinen entsprechen sie der Theorie von Navier und von Poncelet, wie der Praxis von Watt. Für die Schwungräder der Walzwerke habe ich andere Formeln aufgestellt als Morin; theoretische Betrachtungen verlangten diese Aenderung.

Hinsichtlich der Bewegungsmittheilungen sind die bekannten und von den Construkteuren befolgten Regeln zusammengestellt.

Die Erfahrungsresultate über die Reibung sind aus den Versuchsreihen von Morin aus den Jahren 1831 — 1834 zusammengestellt. Dazu hat Morin Tafeln gegeben, welche mit Leichtigkeit die Effekte der Steifheit der Seile und des Gleitens der Seile und Riemen berechnen lassen.

Diese Auflage enthält die Resultate der Versuche von Morin über Fuhrwerke und die durch Fuhrwerke hervorgerufene Zerstörung der Straßen.

Zur Bestimmung der Dimensionen für die Haupttheile der Maschinen sind die Formeln aus den Vorlesungen von Navier genommen; dabei sind die numerischen Coefficienten der besondern Be-

stimmung der Stücke gemäß theils nach direkten Beobachtungen, theils nach den bei vorhandenen Maschinen gewählten Dimensionen abgeändert worden.

Die Regeln über die Gewölbe sind einer Abhandlung des Genie-Kapitän Petit entnommen; die Regeln über die Stützmauern sind von Poncelet.

Zum Schlusse ist eine Reihe von Beobachtungsresultaten über den Nutzeffekt der lebenden Kräfte, der Wasserschöpfwerke, und über den Kraftaufwand zur Bewegung der Maschinen bei verschiedenen Fabrikationszweigen zusammengestellt.

Morin hat den größten Theil der gegebenen Formeln in Regeln mit Vermeidung algebraischer Zeichen übersetzt. Dieß habe ich weggelassen, weil es für den, der nur mit den ersten Elementen der Mathematik bekannt ist, überflüssig ist, und weil solche, bei denen dieß nicht der Fall ist, die übersetzten Formeln in vielen Fällen doch nicht werden anwenden können, namentlich dann nicht, wenn in diesen von trigonometrischen Funktionen oder Logarithmen die Rede ist.

Gerne hätte ich dem metrischen Maße deutsches substituirt, und für dieses die Formeln umgeändert. Allein welches unter den deutschen? Besser in ganz Deutschland bekannt, als irgend ein deutsches, ist doch wohl das Metermaß, und so habe ich dieses, das ohnehin in seiner Anwendung das bequemste ist, beibehalten.

Sollte ein Techniker, bei Anwendung dieses Buchs, sich eines andern Maßes bedienen wollen, so findet er am Ende einige Tabellen, welche zur Reduktion der Maße in das Französische und umgekehrt dienen. Will derselbe dabei die Formeln selbst für sein Maß berechnen, so kann das in jedem Falle leicht geschehen, wozu ich Beispiele hersetze.

Erstes Beispiel. Die Formel in Nr. 124 soll für badisches Maß umgeändert werden.

Es sei

P die Kraft, welche das Wasser auf den äußern Radumfang überträgt, in badischen Pfunden;

v die Geschwindigkeit des äußern Radumfangs in badischen Fußen;

a der Winkel dieser Geschwindigkeit mit der Geschwindigkeit
V des Wassers bei seiner Ankunft auf dem Rade in badischen Fußen;
Q Kubikfuß, die zufließende Wassermenge in 1″;
h die Höhe des Eintrittspunktes über dem Tiefsten des Rades in Fußen.

Ist nun 1 bad. Pfund $=\alpha$ Kilogramm und
1 bad. Fuß $=\beta$ Meter,
so sind

P Pfund $=$ P . α Kilogramm.
v Fuß $=$ v . β Meter.
V „ $=$ V . β „
h „ $=$ h . β „
Q Kubikfuß $=$ Q . β^3 Kubikmeter.

Dieß in die Formel 124 substituirt, gibt:

$$P\,\alpha\,.\,v\,\beta = 799\,Q\,\beta^3\left[h\beta+\frac{(V\beta\cos a - v\beta)\,v\beta)}{9{,}81}\right],$$

$$P\,v = \frac{799\,.\,\beta^3}{\alpha}\,Q\left[h+\frac{(V\cos a - v)\,v}{9{,}81:\beta}\right],$$

oder wegen $\alpha = 0{,}5$ und $\beta = 0{,}3$

$$P\,v = 43{,}1\,Q\,h+\left[\frac{(V\cos a - v)\,v}{32{,}7}\right].$$

Diese Formel gibt den Nutzeffekt des Rades durch die Zahl der badischen Pfunde, welche das Rad in 1 Sekunde auf 1 Fuß erheben kann.

Zweites Beispiel. Die Formel Nr. 308 für preußisches Maß umzuändern.

Es sei
d der Durchmesser des Wellzapfens,
c die Länge desselben, beides in preußischen Zollen,
P der Druck auf den Zapfen in preußischen Pfunden.

Ferner sei 1 preußischer Fuß $=\beta$ Meter, und
1 preußisches Pfund $=\alpha$ Kilogramm;
dann sind

d preußiſche Zolle $= \frac{d}{12} \cdot \beta$ Meter.

c " " $= \frac{c}{12} \cdot \beta$ "

P " Pfunde = P . α Kilogramm.

Dieß in die Formel Nr. 308 ſubſtituirt, gibt

$$\left(\frac{d}{12} \cdot \beta\right)^3 = \frac{P\,\alpha \cdot \frac{c}{12} \cdot \beta}{368125} \text{ und}$$

$$d^3 = \frac{P\,c}{368125 \,.\, \beta^2 : (12^2 \,.\, \alpha)}$$

und wegen $\beta = 0{,}313854$ und

$$\alpha = 0{,}46771$$

$$d^3 = \frac{P\,c}{538{,}40} .$$

Nach Beibehaltung des franzöſiſchen Maßes war es natürlich, auch die franzöſiſche Bezeichnungsweiſe beizubehalten. Demnach bedeutet

$4^m{,}23$	ſo viel als	4,23	Meter;
$0^{mm}{,}024$	" " "	0,024	Millimeter;
$1^{mq}{,}3825$	" " "	1,3825	Quadratmeter;
$0^{mc}{,}304$	" " "	0,304	Kubikmeter;
$625^k{,}3$	" " "	625,3	Kilogramm.

Hiernach werden die vorkommenden Bezeichnungen zu verſtehen ſeyn.

Mannheim im December 1843.

Holtzmann.

Inhaltsanzeige.

Nummer.		Seite.
	Definitionen und angenommene Bezeichnungen . .	1
	Vom Ausflusse des Wassers.	
1 — 30.	Von der Wassermenge, welche in 1 Sekunde durch eine Oeffnung fließt	3
31 — 46.	Bestimmungen der Menge und der Geschwindigkeit des Wassers	36
47 — 58.	Errichtung von regelmäßigen Kanälen	49
59 — 79.	Wasserleitungsröhren	54
80—100.	Wassermenge bei veränderlichem Niveau	99
101—113.	Vom Ausflusse der Gase	114
114—198.	Von der Kraft des strömenden Wassers . . .	121
115—142.	Regeln zur Bestimmung der Kraft eines aufgestellten Rades	122
143—198.	Erbauung von Wasserrädern	144
199—201.	Windräder	164
202—233.	Dampfmaschinen	166
234—242.	Schwungräder	187
	Von den wichtigsten Arten der Mittheilung der Bewegung.	
243—246.	Von Schnüren und Riemen	195
247—268.	Vom Räderwerke	199
269—289.	Von der Reibung	213
290.	Fuhrwerke	231
	Festigkeit der Materialien und Stabilität der Konstruktionen.	
291—293	Feste Körper sind dem Zusammenpressen ausgesetzt . .	239
294—299.	Feste Körper sind dem Ausdehnen durch Ziehen ausgesetzt	241
300—347.	Feste Körper sind einer Biegung rechtwinklich auf ihre Länge ausgesetzt	246
348—349.	Feste Körper sind einer Drehung ausgesetzt	268
350—351.	Röhren und Kugeln mit innerem Drucke	269
252.	Verhältnisse und Dimensionen der Schrauben	270
353—366.	Formeln zur Berechnung der Biegung und Drehung .	271
367—381.	Regeln zur Berechnung des Drucks der Gewölbe und der erforderlichen Dicke ihrer Widerlager	275
382—389.	Stärke der Stützmauern	287
390—392.	Mauern und Böden der Wohnhäuser	292
	Beobachtungsresultate über den Nutzeffekt der Maschinen.	
393—305.	Arbeit der Menschen und Thiere	295
396.	Arbeit bei verschiedenen Arten Wasser zu heben	298
397.	Erfahrungsresultate über Maschinen bei verschiedenen Fabrikationszweigen	302
	Tafel der specifischen Gewichte	330
	Vergleichung der Maße und Gewichte	331

Hilfsbuch des praktischen Mechanikers.

Definitionen und angenommene Bezeichnungen.

In allen Formeln und praktischen Regeln, welche dieses Buch gibt, legen wir den Worten und Zeichen den Sinn bei, welcher in den folgenden Definitionen und Annahmen angezeigt ist.

Einheiten der Maße.

Die linearen Dimensionen sind, wo nichts anderes bemerkt ist, in Metern zu verstehen, die Flächenmaße in Quadrat- und die Volume in Kubikmetern. Die Einheit des Gewichts ist das Kilogramm. Die Zeiten werden gewöhnlich in Sekunden angegeben

Kraft.

Die Kräfte, welche auf die Maschinen wirken, können in Gewichten gemessen werden. Als Einheit hierzu nehmen wir das Kilogramm an, und die Kräfte werden daher durch eine bestimmte Zahl von Kilogrammen ausgedrückt sein. Der Buchstabe, welcher die Kraft in den Formeln bezeichnet, wird häufig von dem Zeichen kil. begleitet sein, um hieran zu erinnern.

Geschwindigkeit.

Die Geschwindigkeit eines Körpers ist der Raum, den er in 1 Sekunde durchlauft, wenn er sich gleichförmig bewegt. Ist seine Bewegung veränderlich, so ist die Geschwindigkeit in irgend einem Augenblicke der Weg, den er in 1″ durchlaufen würde, wenn er sich von dem betrachteten Augenblicke an gleichförmig weiter bewegte. Die Geschwindigkeit ist in Metern ausgedrückt und bezieht sich auf 1″.

Wege.

Die Wege der Angriffspunkte der Kräfte sind eben so in Metern ausgedrückt.

Größe der Wirkung oder der Arbeit.

Die Größe der Wirkung oder der Arbeit, welche eine Kraft geleistet hat, ist das Produkt aus der Größe dieser Kraft in ihren Weg, diesen in der Richtung der Kraft genommen. Die Größe der Wirkung oder der Arbeit wird ausgedrückt durch eine Anzahl Kilogramme auf 1^m erhoben und die Einheit der Arbeit ist $1^{kil.}$ auf 1^m erhoben, was man häufig in den Formeln dadurch anzeigt, daß man rechts über die Zahlen das Zeichen k m wie einen Exponenten setzt.

Wird die Arbeit lange Zeit hindurch und periodisch durch die Wirkung der Kräfte hervorgebracht, so bezieht man sie, um zu große Zahlen zu vermeiden, auf eine bestimmte Periode, deren Dauer man gewöhnlich gleich einer Sekunde annimmt. Man sagt dann, die Größe der betrachteten Wirkung oder Arbeit ist gleich einer bestimmten Anzahl von Kilogrammen auf 1^m in $1''$ erhoben.

Pferdskraft.

Bei mächtigen Maschinen würden die Zahlen, welche auf diese Art die Größe der Wirkung oder der Arbeit in 1 Sekunde ausdrückten, noch sehr groß sein. Diese Betrachtung und einige andere Umstände haben die Mechaniker veranlaßt, eine andere Einheit der Arbeit anzunehmen, welche man Pferdskraft nennt. Der gebräuchlichste Werth dieser Einheit ist 75 Kil. auf 1^m in $1''$ erhoben, und stimmt nahe zusammen mit dem, welchen Watt angenommen hat, und der 33000 Pfund avoir du poids auf 1 englischen Fuß in 1 Sekunde erhoben beträgt.

Da dieser Werth der Pferdskraft nicht von allen Praktikern gebraucht wird, so ist es wichtig, bei den Rechnungen und Uebertragungen den angenommenen genau zu bezeichnen.

Beschleunigung der Schwere.

Die Beschleunigung der Schwere oder die Geschwindigkeit, die schwere Körper im leeren Raume nach der ersten Sekunde ihres Falls erlangt haben, bezeichnen wir mit g, sie ist für unsere Gegenden gleich $9^m,8088$.

Vom Ausfluſſe des Waſſers.

Von der Waſſermenge, welche in einer Sekunde durch eine Oeffnung fließt.

Zwei Fälle.

1. Beim Ausfluß des Waſſers durch eine Oeffnung hat man zwei Fälle zu unterſcheiden, welche gewöhnlich beim erſten Anblicke leicht erkannt werden:

a) Die Wand iſt ſo dünn im Verhältniß zu den Dimenſionen der Oeffnung, daß ſich der flüſſige Strahl vollſtändig von den Seiten ablöst; man ſagt hier die Zuſammenziehung geſchehe in einer dünnen Wand. Dieſer Fall iſt der gewöhnlichſte; er kommt vor überall, wo die kleinſte Dimenſion der Oeffnung nicht kleiner iſt als die Dicke der Wand oder der Schütze, durch welche das Waſſer fließt, und wenn dieſe Dicke nicht über $0^m,05$ oder $0^m,06$ beträgt.

b) Die Dicke der Wand iſt wenigſtens $1^1/_2$ mal ſo groß als die kleinſte Dimenſion der Oeffnung; die Waſſerfäden nähern ſich dann den Wänden und folgen dieſen, ſo daß ſie beim Austritt denſelben anſcheinend parallel laufen. Dieß iſt namentlich der Fall, wenn die Oeffnung durch eine Anſatzröhre verlängert iſt.

Mittlere Geſchwindigkeit, mit der das Waſſer durch eine Oeffnung in einer dünnen Wand fließt.

2. Im erſten Falle, wenn der Ausfluß in freier Luft geſchieht, iſt die mittlere Geſchwindigkeit des Austritts des Waſſers aus einer Oeffnung von Dimenſionen, die gegen die des Behälters und gegen die Druckhöhe über ihrem Mittel klein ſind, nahezu gleich der Geſchwindigkeit, welche dieſer Druckhöhe zugehört.

Nennt man
H die Druckhöhe über der Mitte der Oeffnung,
V die mittlere Geschwindigkeit des Ausflusses,
$g = 9^m,8088$,
so hat man

$$V = \sqrt{2gH} = 4,43 . \sqrt{H}$$

Diese Gleichung enthält das Toricellische Gesetz.

Geschwindigkeitshöhe.

3. Aus dieser Formel erhält man die Gleichung

$$H = \frac{V^2}{2g} = \frac{V^2}{19,62};$$

welche die Höhe gibt, die einer bekannten Geschwindigkeit entspricht.

Tafel der Geschwindigkeitshöhen.

4. Die folgende Tafel gibt die Geschwindigkeiten und die zugehörigen Höhen von der Geschwindigkeit 0 bis zu der von $9^m,64$ in der Sekunde.

Tafel der zu verschiedenen Geschwindigkeiten gehörigen Höhen, beide in Metern ausgedrückt.

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
0,01	0,00001	0,15	0,00115	0,29	0,00429	0,43	0,00940
0,02	0,00002	0,16	0,00131	0,30	0,00459	0,44	0,00980
0,03	0,00005	0,17	0,00148	0,31	0,00490	0,45	0,01030
0,04	0,00009	0,18	0,00166	0,32	0,00522	0,46	0,0108
0,05	0,00013	0,19	0,00185	0,33	0,00555	0,47	0,0112
0,06	0,00019	0,20	0,00204	0,34	0,00589	0,48	0,0117
0,07	0,00026	0,21	0,00225	0,35	0,00624	0,49	0,0122
0,08	0,00034	0,22	0,00247	0,36	0,00660	0,50	0,0127
0,09	0,00043	0,23	0,00270	0,37	0,00697	0,51	0,0132
0,10	0,00051	0,24	0,00294	0,38	0,00735	0,52	0,0138
0,11	0,00062	0,25	0,00319	0,39	0,00775	0,53	0,0143
0,12	0,00074	0,26	0,00345	0,40	0,00816	0,54	0,0148
0,13	0,00087	0,27	0,00372	0,41	0,00860	0,55	0,0154
0,14	0,00101	0,28	0,00400	0,42	0,00900	0,56	0,0160

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
0,57	0,0165	1,01	0,0520	1,45	0,1072	1,89	0,1820
0,58	0,0171	1,02	0,0530	1,46	0,1086	1,90	0,1840
0,59	0,0177	1,03	0,0541	1,47	0,1101	1,91	0,1859
0,60	0,0184	1,04	0,0551	1,48	0,1116	1,92	0,1878
0,61	0,0190	1,05	0,0562	1,49	0,1131	1,93	0,1898
0,62	0,0196	1,06	0,0573	1,50	0,1147	1,94	0,1918
0,63	0,0202	1,07	0,0584	1,51	0,1162	1,95	0,1938
0,64	0,0209	1,08	0,0595	1,52	0,1177	1,96	0,1958
0,65	0,0215	1,09	0,0606	1,53	0,1193	1,97	0,1978
0,66	0,0222	1,10	0,0617	1,54	0,1209	1,98	0,1998
0,67	0,0229	1,11	0,0628	1,55	0,1225	1,99	0,2018
0,68	0,0236	1,12	0,0639	1,56	0,1241	2,00	0,2039
0,69	0,0243	1,13	0,0651	1,57	0,1257	2,01	0,2059
0,70	0,0250	1,14	0,0662	1,58	0,1273	2,02	0,2080
0,71	0,0257	1,15	0,0674	1,59	0,1289	2,03	0,2100
0,72	0,0264	1,16	0,0686	1,60	0,1305	2,04	0,2121
0,73	0,0272	1,17	0,0698	1,61	0,1321	2,05	0,2142
0,74	0,0279	1,18	0,0710	1,62	0,1337	2,06	0,2163
0,75	0,0287	1,19	0,0722	1,63	0,1354	2,07	0,2184
0,76	0,0295	1,20	0,0734	1,64	0,1371	2,08	0,2205
0,77	0,0302	1,21	0,0746	1,65	0,1388	2,09	0,2226
0,78	0,0310	1,22	0,0758	1,66	0,1405	2,10	0,2248
0,79	0,0318	1,23	0,0771	1,67	0,1422	2,11	0,2269
0,80	0,0326	1,24	0,0784	1,68	0,1439	2,12	0,2291
0,81	0,0334	1,25	0,0797	1,69	0,1456	2,13	0,2313
0,82	0,0343	1,26	0,0809	1,70	0,1473	2,14	0,2334
0,83	0,0351	1,27	0,0822	1,71	0,1490	2,15	0,2356
0,84	0,0360	1,28	0,0835	1,72	0,1508	2,16	0,2378
0,85	0,0368	1,29	0,0848	1,73	0,1525	2,17	0,2400
0,86	0,0377	1,30	0,0861	1,74	0,1543	2,18	0,2422
0,87	0,0386	1,31	0,0875	1,75	0,1561	2,19	0,2444
0,88	0,0395	1,32	0,0888	1,76	0,1579	2,20	0,2467
0,89	0,0404	1,33	0,0901	1,77	0,1597	2,21	0,2490
0,90	0,0413	1,34	0,0915	1,78	0,1615	2,22	0,2512
0,91	0,0422	1,35	0,0929	1,79	0,1633	2,23	0,2535
0,92	0,0431	1,36	0,0943	1,80	0,1651	2,24	0,2557
0,93	0,0441	1,37	0,0957	1,81	0,1670	2,25	0,2580
0,94	0,0450	1,38	0,0970	1,82	0,1688	2,26	0,2603
0,95	0,0460	1,39	0,0984	1,83	0,1707	2,27	0,2626
0,96	0,0470	1,40	0,0999	1,84	0,1726	2,28	0,2649
0,97	0,0480	1,41	0,1013	1,85	0,1745	2,29	0,2673
0,98	0,0490	1,42	0,1028	1,86	0,1763	2,30	0,2696
0,99	0,0500	1,43	0,1042	1,87	0,1782	2,31	0,2720
1,00	0,0510	1,44	0,1057	1,88	0,1801	2,32	0,2743

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
2,33	0,2767	2,77	0,3911	3,21	0,5252	3,65	0,6791
2,34	0,2791	2,78	0,3939	3,22	0,5285	3,66	0,6828
2,35	0,2815	2,79	0,3967	3,23	0,5318	3,67	0,6866
2,36	0,2839	2,80	0,3996	3,24	0,5351	3,68	0,6903
2,37	0,2863	2,81	0,4025	3,25	0,5384	3,69	0,6940
2,38	0,2887	2,82	0,4054	3,26	0,5417	3,70	0,6978
2,39	0,2911	2,83	0,4082	3,27	0,5450	3,71	0,7016
2,40	0,2936	2,84	0,4111	3,28	0,5484	3,72	0,7054
2,41	0,2960	2,85	0,4140	3,29	0,5517	3,73	0,7092
2,42	0,2985	2,86	0,4169	3,30	0,5551	3,74	0,7130
2,43	0,3010	2,87	0,4198	3,31	0,5585	3,75	0,7168
2,44	0,3034	2,88	0,4228	3,32	0,5618	3,76	0,7206
2,45	0,3060	2,89	0,4257	3,33	0,5652	3,77	0,7245
2,46	0,3085	2,90	0,4287	3,34	0,5686	3,78	0,7283
2,47	0,3110	2,91	0,4316	3,35	0,5721	3,79	0,7322
2,48	0,3135	2,92	0,4346	3,36	0,5755	3,80	0,7361
2,49	0,3160	2,93	0,4376	3,37	0,5789	3,81	0,7400
2,50	0,3186	2,94	0,4406	3,38	0,5823	3,82	0,7438
2,51	0,3211	2,95	0,4436	3,39	0,5858	3,83	0,7478
2,52	0,3237	2,96	0,4466	3,40	0,5893	3,84	0,7517
2,53	0,3263	2,97	0,4496	3,41	0,5927	3,85	0,7556
2,54	0,3289	2,98	0,4526	3,42	0,5962	3,86	0,7595
2,55	0,3315	2,99	0,4557	3,43	0,5997	3,87	0,7634
2,56	0,3341	3,00	0,4588	3,44	0,6032	3,88	0,7674
2,57	0,3367	3,01	0,4618	3,45	0,6067	3,89	0,7713
2,58	0,3393	3,02	0,4649	3,46	0,6102	3,90	0,7753
2,59	0,3419	3,03	0,4680	3,47	0,6138	3,91	0,7793
2,60	0,3446	3,04	0,4711	3,48	0,6173	3,92	0,7833
2,61	0,3472	3,05	0,4742	3,49	0,6209	3,93	0,7873
2,62	0,3499	3,06	0,4773	3,50	0,6244	3,94	0,7913
2,63	0,3526	3,07	0,4804	3,51	0,6280	3,95	0,7953
2,64	0,3553	3,08	0,4835	3,52	0,6316	3,96	0,7993
2,65	0,3580	3,09	0,4866	3,53	0,6352	3,97	0,8034
2,66	0,3607	3,10	0,4899	3,54	0,6388	3,98	0,8074
2,67	0,3634	3,11	0,4930	3,55	0,6424	3,99	0,8115
2,68	0,3661	3,12	0,4962	3,56	0,6460	4,00	0,8156
2,69	0,3688	3,13	0,4994	3,57	0,6497	4,01	0,8197
2,70	0,3716	3,14	0,5026	3,58	0,6533	4,02	0,8238
2,71	0,3744	3,15	0,5058	3,59	0,6569	4,03	0,8279
2,72	0,3771	3,16	0,5090	3,60	0,6606	4,04	0,8320
2,73	0,3799	3,17	0,5122	3,61	0,6643	4,05	0,8361
2,74	0,3827	3,18	0,5155	3,62	0,6680	4,06	0,8402
2,75	0,3855	3,19	0,5187	3,63	0,6717	4,07	0,8444
2,76	0,3883	3,20	0,5220	3,64	0,6754	4,08	0,8485

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
4,09	0,8527	4,53	1,0460	4,97	1,2591	5,41	1,4919
4,10	0,8569	4,54	1,0507	4,98	1,2642	5,42	1,4975
4,11	0,8611	4,55	1,0553	4,99	1,2693	5,43	1,5030
4,12	0,8653	4,56	1,0599	5,00	1,2744	5,44	1,5085
4,13	0,8695	4,57	1,0646	5,01	1,2795	5,45	1,5141
4,14	0,8737	4,58	1,0692	5,02	1,2846	5,46	1,5196
4,15	0,8779	4,59	1,0739	5,03	1,2897	5,47	1,5252
4,16	0,8821	4,60	1,0786	5,04	1,2948	5,48	1,5308
4,17	0,8864	4,61	1,0833	5,05	1,3000	5,49	1,5364
4,18	0,8906	4,62	1,0880	5,06	1,3051	5,50	1,5420
4,19	0,8949	4,63	1,0927	5,07	1,3103	5,51	1,5476
4,20	0,8992	4,64	1,0974	5,08	1,3155	5,52	1,5532
4,21	0,9035	4,65	1,1022	5,09	1,3206	5,53	1,5588
4,22	0,9078	4,66	1,1069	5,10	1,3258	5,54	1,5645
4,23	0,9121	4,67	1,1117	5,11	1,3311	5,55	1,5701
4,24	0,9164	4,68	1,1164	5,12	1,3363	5,56	1,5758
4,25	0,9207	4,69	1,1212	5,13	1,3415	5,57	1,5815
4,26	0,9251	4,70	1,1260	5,14	1,3467	5,58	1,5872
4,27	0,9294	4,71	1,1308	5,15	1,3520	5,59	1,5929
4,28	0,9337	4,72	1,1356	5,16	1,3572	5,60	1,5986
4,29	0,9381	4,73	1,1404	5,17	1,3625	5,61	1,6043
4,30	0,9425	4,74	1,1452	5,18	1,3678	5,62	1,6100
4,31	0,9469	4,75	1,1501	5,19	1,3730	5,63	1,6157
4,32	0,9513	4,76	1,1549	5,20	1,3784	5,64	1,6215
4,33	0,9557	4,77	1,1598	5,21	1,3837	5,65	1,6272
4,34	0,9601	4,78	1,1647	5,22	1,3890	5,66	1,6330
4,35	0,9646	4,79	1,1695	5,23	1,3943	5,67	1,6388
4,36	0,9690	4,80	1,1744	5,24	1,3996	5,68	1,6446
4,37	0,9734	4,81	1,1793	5,25	1,4050	5,69	1,6503
4,38	0,9779	4,82	1,1842	5,26	1,4103	5,70	1,6562
4,39	0,9823	4,83	1,1891	5,27	1,4157	5,71	1,6620
4,40	0,9869	4,84	1,1941	5,28	1,4211	5,72	1,6678
4,41	0,9913	4,85	1,1990	5,29	1,4265	5,73	1,6736
4,42	0,9958	4,86	1,2040	5,30	1,4319	5,74	1,6795
4,43	1,0003	4,87	1,2090	5,31	1,4373	5,75	1,6854
4,44	1,0048	4,88	1,2139	5,32	1,4427	5,76	1,6912
4,45	1,0094	4,89	1,2189	5,33	1,4481	5,77	1,6971
4,46	1,0140	4,90	1,2239	5,34	1,4535	5,78	1,7030
4,47	1,0185	4,91	1,2289	5,35	1,4590	5,79	1,7089
4,48	1,0231	4,92	1,2339	5,36	1,4645	5,80	1,7148
4,49	1,0276	4,93	1,2389	5,37	1,4699	5,81	1,7207
4,50	1,0322	4,94	1,2440	5,38	1,4754	5,82	1,7266
4,51	1,0368	4,95	1,2490	5,39	1,4809	5,83	1,7326
4,52	1,0414	4,96	1,2541	5,40	1,4864	5,84	1,7385

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
5,85	1,7445	6,29	2,0167	6,73	2,3088	7,17	2,6205
5,86	1,7505	6,30	2,0232	6,74	2,3156	7,18	2,6279
5,87	1,7564	6,31	2,0296	6,75	2,3225	7,19	2,6352
5,88	1,7624	6,32	2,0361	6,76	2,3294	7,20	2,6425
5,89	1,7684	6,33	2,0425	6,77	2,3363	7,21	2,6499
5,90	1,7744	6,34	2,0490	6,78	2,3432	7,22	2,6572
5,91	1,7805	6,35	2,0554	6,79	2,3501	7,23	2,6646
5,92	1,7865	6,36	2,0619	6,80	2,3571	7,24	2,6720
5,93	1,7925	6,37	2,0684	6,81	2,3640	7,25	2,6794
5,94	1,7986	6,38	2,0749	6,82	2,3709	7,26	2,6868
5,95	1,8046	6,39	2,0814	6,83	2,3779	7,27	2,6942
5,96	1,8107	6,40	2,0879	6,84	2,3849	7,28	2,7016
5,97	1,8168	6,41	2,0945	6,85	2,3919	7,29	2,7090
5,98	1,8229	6,42	2,1010	6,86	2,3989	7,30	2,7164
5,99	1,8290	6,43	2,1075	6,87	2,4059	7,31	2,7239
6,00	1,8351	6 44	2,1141	6,88	2,4129	7,32	2,7313
6,01	1,8412	6,45	2,1207	6,89	2,4199	7,33	2,7388
6,02	1,8473	6,46	2,1273	6,90	2,4269	7,34	2,7463
6,03	1,8535	6,47	2,1338	6,91	2,4339	7,35	2,7538
6,04	1,8596	6,48	2,1404	6,92	2,4410	7,36	2,7613
6,05	1,8658	6,49	2,1471	6,93	2,4481	7,37	2,7688
6,06	1,8720	6,50	2,1537	6,94	2,4551	7,38	2,7763
6,07	1,8782	6,51	2,1603	6,95	2,4622	7,39	2,7838
6,08	1,8843	6,52	2,1670	6,96	2,4693	7,40	2,7914
6,09	1,8905	6,53	2,1736	6,97	2,4764	7,41	2,7989
6,10	1,8968	6,54	2,1803	6,98	2,4835	7,42	2,8065
6,11	1,9030	6,55	2,1869	6,99	2,4906	7,43	2,8140
6,12	1,9092	6,56	2,1936	7,00	2,4978	7,44	2,8216
6,13	1,9155	6,57	2,2003	7,01	2,5049	7,45	2,8292
6,14	1,9217	6,58	2,2070	7,02	2,5121	7,46	2,8368
6,15	1,9280	6,59	2,2137	7,03	2,5192	7,47	2,8444
6,16	1,9343	6,60	2,2205	7,04	2,5264	7,48	2,8521
6,17	1,9405	6,61	2,2272	7,05	2,5336	7,49	2,8597
6,18	1,9468	6,62	2,2339	7,06	2,5408	7,50	2,8673
6,19	1,9531	6,63	2,2407	7,07	2,5480	7,51	2,8750
6,20	1,9595	6,64	2,2474	7,08	2,5552	7,52	2,8826
6,21	1,9658	6,65	2,2542	7,09	2,5624	7,53	2,8903
6,22	1,9721	6,66	2,2610	7,10	2,5696	7,54	2,8980
6,23	1,9785	6,67	2,2678	7,11	2,5769	7,55	2,9057
6,24	1,9848	6,68	2,2746	7,12	2,5841	7,56	2,9134
6,25	1,9912	6,69	2,2814	7,13	2,5914	7,57	2,9211
6,26	1,9976	6,70	2,2883	7,14	2,5987	7,58	2,9288
6,27	2,0039	6,71	2,2951	7,15	2,6060	7,59	2,9365
6,28	2,0103	6,72	2,3019	7,16	2,6132	7,60	2,9443

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
7,61	2,9520	8,05	3,3033	8,49	3,6743	8,93	4,0650
7,62	2,9598	8,06	3,3115	8,50	3,6829	8,94	4,0741
7,63	2,9676	8,07	3,3197	8,51	3,6916	8,95	4,0832
7,64	2,9754	8,08	3,3280	8,52	3,7003	8,96	4,0923
7,65	2,9832	8,09	3,3362	8,53	3,7090	8,97	4,1015
7,66	2,9910	8,10	3,3445	8,54	3,7177	8,98	4,1106
7,67	2,9988	8,11	3,3527	8,55	3,7264	8,99	4,1198
7,68	3,0066	8,12	3,3610	8,56	3,7351	9,00	4,1290
7,69	3,0144	8,13	3,3693	8,57	3,7438	9,01	4,1381
7,70	3,0223	8,14	3,3776	8,58	3,7526	9,02	4,1473
7,71	3,0301	8,15	3,3859	8,59	3,7613	9,03	4,1565
7,72	3,0380	8,16	3,3942	8,60	3,7701	9,04	4,1657
7,73	3,0459	8,17	3,4025	8,61	3,7789	9,05	4,1750
7,74	3,0538	8,18	3,4108	8,62	3,7876	9,06	4,1832
7,75	3,0617	8,19	3,4192	8,63	3,7964	9,07	4,1924
7,76	3,0696	8,20	3,4275	8,64	3,8052	9,08	4,2017
7,77	3,0775	8,21	3,4359	8,65	3,8141	9,09	4,2109
7,78	3,0854	8,22	3,4443	8,66	3,8229	9,10	4,2212
7,79	3,0933	8,23	3,4526	8,67	3,8317	9,11	4,2305
7,80	3,1013	8,24	3,4610	8,68	3,8405	9,12	4,2398
7,81	3,1092	8,25	3,4695	8,69	3,8494	9,13	4,2491
7,82	3,1172	8,26	3,4779	8,70	3,8583	9,14	4,2584
7,83	3,1252	8,27	3,4863	8,71	3,8671	9,15	4,2677
7,84	3,1332	8,28	3,4947	8,72	3,8760	9,16	4,2771
7,85	3,1412	8,29	3,5032	8,73	3,8849	9,17	4,2864
7,86	3,1492	8,30	3,5116	8,74	3,8938	9,18	4,2958
7,87	3,1572	8,31	3,5201	8,75	3,9028	9,19	4,3051
7,88	3,1652	8,32	3,5286	8,76	3,9117	9,20	4,3145
7,89	3,1733	8,33	3,5371	8,77	3,9206	9,21	4,3239
7,90	3,1813	8,34	3,5455	8,78	3,9295	9,22	4,3333
7,91	3,1894	8,35	3,5541	8,79	3,9385	9,23	4,3417
7,92	3,1974	8,36	3,5626	8,80	3,9475	9,24	4,3511
7,93	3,2055	8,37	3,5711	8,81	3,9565	9,25	4,3615
7,94	3,2136	8,38	3,5796	8,82	3,9654	9,26	4,3710
7,95	3,2217	8,39	3,5882	8,83	3,9744	9,27	4,3804
7,96	3,2298	8,40	3,5968	8,84	3,9834	9,28	4,3898
7,97	3,2380	8,41	3,6053	8,85	3,9925	9,29	4,3993
7,98	3,2461	8,42	3,6139	8,86	4,0015	9,30	4,4088
7,99	3,2542	8,43	3,6225	8,87	4,0105	9,31	4,4183
8,00	3,2624	8,44	3,6311	8,88	4,0196	9,32	4,4278
8,01	3,2705	8,45	3,6397	8,89	4,0286	9,33	4,4373
8,02	3,2787	8,46	3,6483	8,90	4,0377	9,34	4,4468
8,03	3,2869	8,47	3,6570	8,91	4,0468	9,35	4,4563
8,04	3,2951	8,48	3,6656	8,92	4,0559	9,36	4,4659

Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.	Geschwindigkeit.	Zugehörige Höhe.
m	m	m	m	m	m	m	m
9,37	4,4754	9,44	4,5425	9,51	4,6102	9,58	4,6783
9,38	4,4850	9,45	4,5522	9,52	4,6199	9,59	4,6880
9,39	4,4945	9,46	4,5618	9,53	4,6296	9,60	4,6978
9,40	4,5041	9,47	4,5715	9,54	4,6393	9,61	4,7076
9,41	4,5137	9,48	4,5811	9,55	4,6490	9,62	4,7174
9,42	4,5233	9,49	4,5908	9,56	4,6588	9,63	4,7272
9,43	4,5329	9,50	4,6005	9,57	4,6685	9,64	4,7370

Mittlere Ausflußgeschwindigkeit im zweiten Falle.

5. Im zweiten Falle, wo die Oeffnung durch einen prismatischen oder cylindrischen Ansatz verlängert ist, der drei- oder viermal so lange ist, als die kleinste Dimension der Oeffnung, oder wo die Wand, durch welche das Wasser ausströmt, eine Dicke eben so oder $1^1/_2$ mal so groß als die kleinste Dimension der Oeffnung hat, ist die Geschwindigkeit durch die Anwesenheit der Wände geändert, und in den gewöhnlichen Fällen gleich 0,82 von der, welche der Druckhöhe über dem Mittel der Oeffnung entspricht.

Darnach hat man die Regel:

Um die mittlere Ausflußgeschwindigkeit für eine Ansatzröhre zu haben, multiplizire man die Geschwindigkeit, welche zur Druckhöhe über der Mitte der Oeffnung gehört, mit 0,82.

Höhe, zu der sich ein Wasserstrahl erheben kann, der durch eine Ansatzröhre geht.

6. Hieraus folgt, daß die Höhe h', zu der sich das Wasser in Folge dieser verminderten Geschwindigkeit erheben kann,

$$h' = \frac{(0{,}82\,V)^2}{2\,g} = \frac{0{,}67\,V^2}{2\,g} = 0{,}67\,H$$

ist.

Unterscheidung zwischen theoretischer und effektiver Ausflußmenge.

7. Man nennt theoretische Ausflußmenge bei einer Oeffnung die, welche man aus der Theorie der Bewegung der

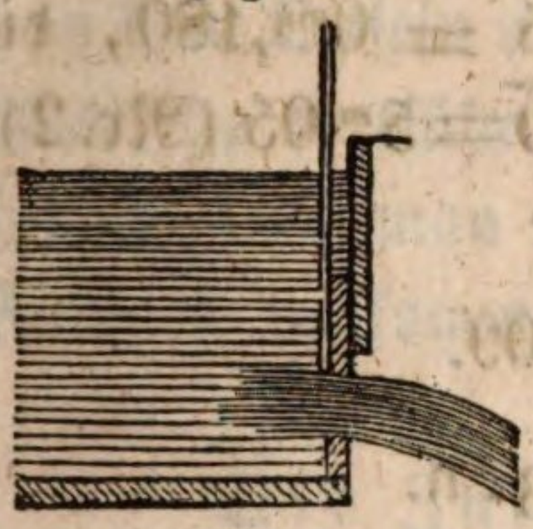
Flüssigkeiten in der Hypothese des Parallelismus der Schichten und ohne Berücksichtigung der Zusammenziehung des Strahls ableitet, und effektive Ausflußmenge die, welche in der That vorhanden ist, und welche man vor allem kennen lernen muß.

Wir geben zuerst die Formeln und Regeln an, zu denen die Theorie führt, um die erste zu berechnen, und werden später Mittel kennen lernen, um hieraus in den gewöhnlichsten Fällen der Praxis die effektive Ausflußmenge zu bestimmen.

Die gebräuchlichen Ausflußöffnungen können in drei Klassen getheilt werden.

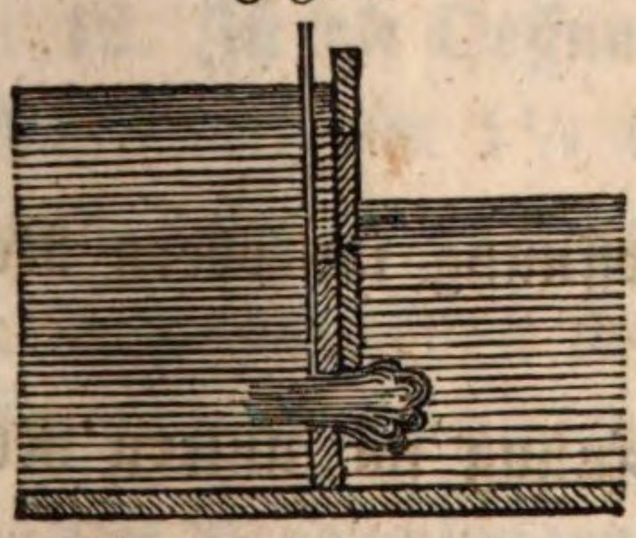
8. Zu dem Ende bemerken wir, daß man die in Gebrauch stehenden Oeffnungen in drei Klassen theilen kann, welche sind:

Fig. 1.



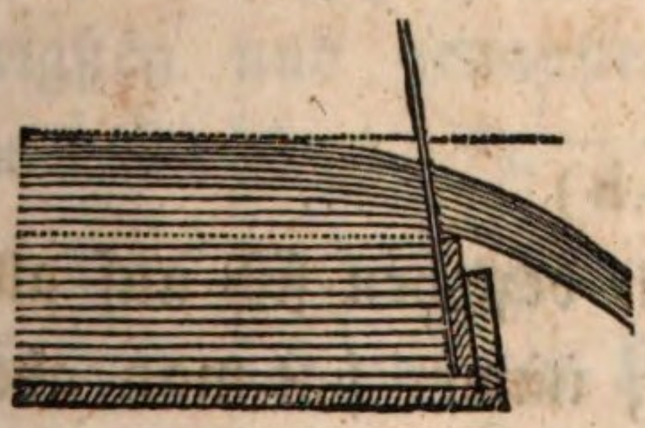
1. Die Oeffnungen, welche in die freie Luft münden (Fig. 1) und deren obere Seite unter dem Niveau des Reservoirs liegt.

Fig. 2.



2. Die Oeffnungen, welche in ein unteres Reservoir münden (Fig. 2), deren obere Seite zugleich unter dem Niveau des obern und des untern Reservoirs liegt. Man sagt dann die Oeffnung sei untergetaucht.

Fig. 3.



3. Die Ueberfälle (Fig. 3), bei denen das Wasser über eine Schütze oder einen Fachbaum fließt, und welche nur unten und auf den Seiten begrenzt sind.

Theoretische Ausflußmenge durch Oeffnungen mit Wasserdruck über der obern Seite; Oeffnungen, welche in die freie Luft münden.

9. Wir beschäftigen uns zuerst mit der Berechnung der Ausflußmenge für die beiden ersten Arten der Oeffnungen.

Nennen wir
L die Weite der Oeffnung,
E ihre Höhe,
H die Druckhöhe über der Mitte der Oeffnung,
Q die theoretische Ausflußmenge in 1″,
so hat man

$$Q = LE\sqrt{2gH}$$

wo man $\sqrt{2gH}$ aus der Tabelle in Nr. 4 nehmen kann.

Beispiel.

Welches ist die theoretische Ausflußmenge in 1″ durch eine Oeffnung von $1^m,20$ Weite, $0^m,15$ Höhe bei einem Druck von $1^m,30$ über dem Mittel?

Die Fläche der Oeffnung $= 1,20 \times 0,15 = 0^{mq},180$, die mittlere Ausflußgeschwindigkeit $= 4,43 . \sqrt{1,30} = 5^m,05$ (Nr. 2): man hat daher die theoretische Ausflußmenge

$$Q = 0,180 \times 5,05 = 0^{mc},909.$$

Untergetauchte Oeffnungen.

10. Nennt man
L die Weite,
E die Höhe der Oeffnung,
H die Druckhöhe über der Sohle der Oeffnung im obern Reservoir,
h die Druckhöhe über der Sohle der Oeffnung im untern Reservoir und
Q die theoretische Ausflußmenge in 1″,
so hat man

$$Q = LE\sqrt{2g(H-h)}$$

Anmerkung. Die vorstehenden Regeln beziehen sich auf alle Oeffnungen, welches auch ihre Form sei; immer hat man aber für **LE** die Fläche der Oeffnung zu setzen.

Beispiel.

Welches ist die theoretische Ausflußmenge in einer Sekunde bei einer untergetauchten Oeffnung von $0^m,90$ Weite, $0^m,10$ Höhe, wenn das Niveau des obern Reservoirs $1^m,40$ über dem Niveau des untern steht?

Die Fläche der Oeffnung ist $0{,}90 \times 0{,}10 = 0^{mq},09$, die mittlere Geschwindigkeit des Ausflusses $= 4{,}43 . \sqrt{1{,}40} = 5^{m},24$.
Die theoretische Ausflußmenge $Q = 0{,}09 \times 5{,}24 = 0^{mc},4716$.

Effektive Ausflußmenge durch Oeffnungen, bei denen das Wasser über dem obern Rande steht.

11. Die effektive Ausflußmenge ist immer geringer als die theoretische, und ist um so mehr hiervon verschieden, je beträchtlicher die Wirkungen der Zusammenziehung sind. Da diese Wirkungen hauptsächlich von der Lage der Oeffnung gegen die Wände des Reservoirs, von den Dimensionen der Oeffnung, von der Druckhöhe über derselben, und endlich in gewissen Fällen von dem Dasein von Gerinnen, welche das Wasser nach seinem Austritte fortführen, abhängen, so wollen wir die Regeln anführen, die man in den wichtigsten Fällen, welche bei solchen Anlagen vorkommen, zu befolgen hat.

Die Zusammenziehung ist vollständig.

12. Ist die Oeffnung vom Boden und den Seitenwänden des Reservoirs um $1\frac{1}{2}$ bis 2 mal ihre kleinste Dimension entfernt, so strömen die flüssigen Faden von allen Seiten gegen sie, und die Zusammenziehung findet auf allen Seiten statt: man sagt dann sie sei vollständig.

Die Beobachtungen über den Ausfluß des Wassers sind hauptsächlich bezüglich auf diesen Fall angestellt worden. Die vollständigsten und genausten verdanken wir den Herrn Poncelet und Lesbros *).

Das Verhältniß der effektiven Ausflußmenge zur theoretischen ändert sich mit der kleinsten Dimension der Oeffnung und der Druckhöhe über ihrem obern Rande. Seine Werthe, welche diese geschickten Ingenieure bestimmt haben, sind in der folgenden

---

*) Expériences hydrauliques sur les lois de l'écoulement de l'eau entreprises à Metz, par MM. Poncelet et Lesbros, d'après les ordres du ministre de la guerre. — Paris; Bachelier, libraire. 1832.

Tabelle unter dem Namen Coefficienten der theoretischen Ausflußmenge aufgezeichnet. Diese Tabelle hat zwei Eingänge, der eine bezieht sich auf die Höhen der Oeffnungen, der andere auf die Druckhöhen über dem obern Rande.

Da Fälle vorkommen können, wo man genöthigt ist, den Wasserstand über der Oeffnung unmittelbar an dieser zu messen, wo er immer kleiner ist als dort wo das Wasser ruhig steht, so hat man in dieser Tabelle die Werthe des Coefficienten gegeben:

1. für den Fall, daß die Wasserstände an einem ruhigen Orte gemessen wurden, und

2. für den Fall, wo die Wasserstände unmittelbar an der Oeffnung gemessen wurden.

Tafel der Coefficienten der theoretischen Ausflußmenge für rechtwinkliche, vertikale Oeffnungen in dünnen Wänden, bei vollständiger Contraktion und Ausfluß des Wassers in die freie Luft. (Die Wasserstände sind bei einem Punkte im Reservoir gemessen, wo das Wasser vollkommen ruhig ist.)

Wasserstände über dem obern Rand der Oeffnung	Coefficienten der theoretischen Ausflußmenge für Höhen der Oeffnungen von					
	0m,20.	0m,10.	0m,05.	0m,03.	0m,02.	0m,01.
m						
0,000	„	„	„	„	„	„
0,005	„	„	„	„	„	0,705
0,010	„	„	0,607	0,630	0,660	0,701
0,015	„	0,593	0,612	0,632	0,660	0,697
0,020	0,572	0,596	0,615	0,634	0,659	0,694
0,030	0,578	0,600	0,620	0,638	0,659	0,688
0,040	0,582	0,603	0,623	0,640	0,658	0,683
0,050	0,585	0,605	0,625	0,640	0,658	9,679
0,060	0,587	0,607	0,627	0,640	0,657	0,676
0,070	0,588	0,609	0,628	0,639	0,656	0,673
0,080	0,589	0,610	0,629	0,638	0,656	0,670
0,090	0,591	0,610	0,629	0,637	0,655	0,668
0,100	0,592	0,611	0,630	0,637	0,654	0,666
0,120	0,593	0,612	0,630	0,636	0,653	0,663
0,140	0,595	0,613	0,630	0,635	0,651	0,660
0,160	0,596	0,614	0,631	0,634	0,650	0,658
0,180	0,597	0,615	0,630	0,634	0,649	0,657
0,200	0,598	0,615	0,630	0,633	0,648	0,655
0,250	0,599	0,616	0,630	0,632	0,646	0,653
0,300	0,600	0,616	0,629	0,632	0,644	0,650
0,400	0,602	0,617	0,628	0,631	0,642	0,647
0,500	0,603	0,617	0,628	0,630	0,640	0,644
0,600	0,604	0,617	0,627	0,630	0,638	0,642
0,700	0,604	0,616	0,627	0,629	0,637	0,640
0,800	0,605	0,616	0,627	0,629	0,636	0,637
0,900	0,605	0,615	0,626	0,628	0,634	0,635
1,000	0,605	0,615	0,626	0,628	0,633	0,632
1,100	0,604	0,614	0,625	0,627	0,631	0,629
1,200	0,604	0,614	0,624	0,626	0,628	0,626
1,300	0,603	0,613	0,622	0,624	0,625	0,622
1,400	0,603	0,612	0,621	0,622	0,622	0,618
1,500	0,602	0,611	0,620	0,620	0,619	0,615
1,600	0,602	0,611	0,618	0,618	0,617	0,613
1,700	0,602	0,610	0,617	0,616	0,615	0,612
1,800	0,601	0,609	0,615	0,615	0,614	0,612
1,900	0,601	0,608	0,614	0,613	0,612	0,611
2,000	0,601	0,607	0,613	0,612	0,612	0,611
3,000	0,601	0,603	0,606	0,608	0,610	0,609

Tafel der Coefficienten der theoretischen Ausflußmenge für rechtwinkliche, vertikale Oeffnungen in einer dünnen Wand, bei vollständiger Contraktion und Ausfluß in die freie Luft. (Die Wasserstände sind unmittelbar an der Schütze gemessen.)

Wasserstände über dem obern Rand der Oeffnung.	Coefficienten der theoretischen Ausflußmenge für Höhen der Oeffnungen von					
	0m,20.	0m,10.	0m,05.	0m,03.	0m,02.	0m,01.
m						
0,000	0,619	0,667	0,713	0,766	0,783	0,795
0,005	0,597	0,630	0,668	0,725	0,750	0,778
0,010	0,595	0,618	0,642	0,687	0,720	0,762
0,015	0,594	0,615	0,639	0,674	0,707	0,745
0,020	0,594	0,614	0,638	0,668	0,697	0,729
0,030	0,593	0,613	0,637	0,659	0,685	0,708
0,040	0,593	0,612	0,636	0,654	0,678	0,695
0,050	0,593	0,612	0,636	0,651	0,672	0,686
0,060	0,594	0,613	0,635	0,647	0,668	0,681
0,070	0,594	0,613	0,635	0,645	0,665	0,677
0,080	0,594	0,613	0,635	0,643	0,662	0,675
0,090	0,595	0,614	0,634	0,641	0,659	0,672
0,100	0,595	0,614	0,634	0,640	0,657	0,669
0,120	0,596	0,614	0,633	0,637	0,655	0,665
0,140	0,597	0,614	0,632	0,636	0,653	0,661
0,160	0,597	0,615	0,631	0,635	0,651	0,659
0,180	0,598	0,615	0,631	0,634	0,650	0,657
0,200	0,599	0,615	0,630	0,633	0,649	0,656
0,250	0,600	0,616	0,630	0,632	0,646	0,653
0,300	0,601	0,616	0,629	0,632	0,644	0,651
0,400	0,602	0,617	0,629	0,631	0,642	0,647
0,500	0,603	0,617	0,628	0,630	0,640	0,645
0,600	0,604	0,617	0,627	0,630	0,638	0,643
0,700	0,604	0,616	0,627	0,629	0,637	0,640
0,800	0,605	0,616	0,627	0,629	0,636	0,637
0,900	0,605	0,615	0,626	0,628	0,634	0,635
1,000	0,605	0,615	0,626	0,628	0,633	0,632
1,100	0,604	0,614	0,625	0,627	0,631	0,629
1,200	0,604	0,614	0,624	0,626	0,628	0,626
1,300	0,603	0,613	0,622	0,624	0,625	0,622
1,400	6,603	0,612	0,621	0,622	0,623	0,618
1,500	0,602	0,611	0,620	0,620	0,619	0,615
1,600	0,602	0,611	0,618	0,618	0,617	0,613
1,700	0,602	0,610	0,617	0,616	0,615	0,612
1,800	0,601	0,609	0,615	0,615	0,614	0,612
1,900	0,601	0,608	0,614	0,613	0,613	0,611
2,000	0,601	0,607	0,614	0,612	0,612	0,611
3,000	0,601	0,603	0,606	0,608	0,610	0,609

Regel zur Berechnung der effektiven Ausflußmenge bei vollständiger Contraktion.

13. Mit Hilfe dieser Tafel wird es leicht, die effektive Ausflußmenge für alle Oeffnungen, bei einem Wasserstande über dem obern Rande und bei vollständiger Contraktion zu berechnen.

Man hat folgende Regel zu befolgen:

Man suche in der Tafel unter Nr. 12 den Werth des Coefficienten der Ausflußmenge, welcher zu der gegebenen Oeffnung und dem gegebenen Wasserstande über dem obern Rande gehört, und multiplizire die gefundene Zahl mit der theoretischen Ausflußmenge, so ist das Produkt die effektive Ausflußmenge in 1″.

Diese Regel ist auf untergetauchte wie auf Oeffnungen anwendbar, die in die freie Luft münden.

Erstes Beispiel.

Welches ist die effektive Ausflußmenge durch eine Oeffnung von $0^m,10$ Höhe und $1^m,20$ Weite, bei $1^m,30$ Wasserstand über der Mitte und Ausfluß in die freie Luft?

Die Geschwindigkeit, welche zu dem Wasserstande über der Mitte gehört, ist (Regel unter Nr. 2 und Tafel unter Nr. 4)

$$4{,}43\sqrt{1{,}30} = 5^m,05$$

Die Fläche der Oeffnung $= 1{,}20 \times 0{,}10 = 0^{mq},12.$

Die theoretische Ausflußmenge ist (Nr. 9) $0{,}12 \times 5{,}05 = 0^{mc},606.$

Die Tafel Nr. 12 gibt als Coefficienten in diesem Fall, wenn der Wasserstand an einem Ort gemessen wurde, wo das Wasser in Ruhe ist, die Zahl 0,614.

Die effektive Wassermenge ist daher, nach obiger Regel, $= 0{,}614 \times 0^{mc},606 = 0^{mc},372.$

Zweites Beispiel.

Welches ist die Wassermenge, welche in einer Sekunde durch eine untergetauchte Oeffnung von $0^m,10$ Höhe und $0^m,90$ Weite, bei einem Niveauunterschiede von $1^m,40$ in beiden Reservoiren in der That ausfließt, wenn vollständige Contraktion statt findet?

Die zum Niveauunterſchiede gehörige Geſchwindigkeit iſt $4{,}43 \cdot \sqrt{1{,}40} = 5^{m},24$ (Regel Nr. 2 und Tafel in Nr. 4).

Die Fläche der Mündung iſt $0^{mq},09$.

Die theoretiſche Ausflußmenge für die Sekunde iſt

$$0{,}09 \times 5{,}24 = 0^{mc},4716.$$

Die Tafel in Nr. 12 gibt als Coefficienten für dieſen Fall, wenn der Niveauunterſchied unmittelbar an der Schütze gemeſſen wurde, die Zahl 0,612.

Die effektive Ausflußmenge iſt nun nach obiger Regel

$$0{,}612 \times 0^{mc},4716 = 0^{mc},2886.$$

Bemerkung über den Gebrauch dieſer Tafeln und über die vorhergehende Regel.

14. Wenn die Höhe der Oeffnung oder der Waſſerſtand über dem obern Rande zwiſchen die in den Tafeln aufgenommenen Werthe fallen, ſo nimmt man für den Coefficienten ein proportionales Mittel zwiſchen den nächſtliegenden der Tafel.

Drittes Beiſpiel.

Welches iſt die effektive Ausflußmenge in der Sekunde durch eine Oeffnung von $0^{m},18$ Höhe und $0^{m},80$ Weite bei einem Waſſerſtand von $1^{m},50$ über der Mitte, gemeſſen an einem Orte, wo das Waſſer unbewegt iſt?

Die Geſchwindigkeit, welche dem Waſſerſtande entſpricht, iſt (Regel unter Nr. 2 oder Tafel in Nr. 4)

$$4{,}43 \cdot \sqrt{1{,}50} = 5^{m},423$$

Die Fläche der Oeffnung iſt

$$0{,}18 \times 0{,}80 = 0^{mq},144$$

Die theoretiſche Ausflußmenge iſt (Regel in Nr. 9)

$$0{,}144 \times 5{,}423 = 0^{mc},781.$$

Die Höhe der Oeffnung liegt zwiſchen $0^{m},20$ und $0^{m},10$, der Coefficient der Ausflußmenge alſo zwiſchen 0,602 und 0,611. Die Differenz der Höhen iſt $0^{m},10$, die Differenz der Coefficienten 0,009; alſo die Vermehrung, welche zum erſten Coefficienten bei einer Abnahme der Höhe der Oeffnung um $0^{m},02$ addirt werden muß

$\frac{0,02}{0,10} \times 0,009 = 0,0018$, und der Coefficient für die Höhe $0^m,18$ der Ausflußöffnung $= 0,6038$.

Die effektive Ausflußmenge ist hiermit

$$0,6038 \times 0^{mc},781 = 0^{mc},471.$$

Anmerkung. Ueberschreitet die Höhe der Oeffnung $0^m,20$, so nimmt man als Coefficienten der Ausflußmenge den, welcher der Oeffnung von $0^m,20$ Höhe entspricht.

Die Contraktion ist nicht vollständig.

15. Bildet eine von den Seiten der Oeffnung eine Verlängerung einer Seite des Reservoirs, so daß die Wasserfäden parallel mit dieser Wand austreten, so ist die Wirkung der Contraktion für diese Seite vermindert oder ganz aufgehoben. Man sagt dann, die Zusammenziehung finde nur an den drei andern Seiten statt. Dieß ist z. B. der Fall, wenn die Sohle der Oeffnung mit dem Boden des Reservoirs zusammenfällt. Dasselbe kann zu gleicher Zeit mit den andern Seiten der Fall seyn, und darnach hat man folgende Regel zu beobachten:

Um die effektive Ausflußmenge in der Sekunde für eine Oeffnung zu erhalten, bei der sich der Wasserstand über den obern Rand erhebt, und bei der die Zusammenziehung an einer oder mehreren Seiten nicht statt hat, multiplizire man den durch die Tafel in Nr. 12 gegebenen Coefficienten mit

1,035 wenn die Contraktion auf 3 Seiten statt findet
1,072 " " " " 2 " " " "
1,125 " " " " 1 " " " "

dann multiplizire man die theoretische Wassermenge durch den so erhaltenen Coefficienten, und das Produkt wird die effektive Wassermenge seyn.

Erstes Beispiel.

Welches ist die effektive Ausflußmenge für eine Oeffnung von $0^m,15$ Höhe und $1^m,20$ Weite, bei einem Wasserstand von $1^m,30$ über der Mitte, wenn das Wasser in die freie Luft ausströmt,

und die Sohle der Oeffnung mit dem Boden des Reservoirs zusammenfällt?

Der Coefficient, wenn die Contraktion vollständig wäre, würde $\frac{0{,}603 + 0{,}613}{2} = 0{,}608$ seyn; da aber die Contraktion nur an 3 Seiten statt findet, so wird er

$$0{,}608 \times 1{,}035 = 0{,}629.$$

Die theoretische Ausflußmenge ist

$$0{,}15 \times 1{,}20 \times 4{,}43 \cdot \sqrt{1{,}30} = 0^{mc},909,$$

die effektive daher

$$0{,}629 \times 0^{mc},909 = 0^{mc},572.$$

Zweites Beispiel.

Welches ist bei derselben Oeffnung und demselben Wasserstande die Ausflußmenge, wenn noch eine der vertikalen Seiten in eine Verlängerung einer der Seiten des Reservoirs fällt?

Die Contraktion hat jetzt nur an 2 Seiten statt und der Coefficient der theoretischen Ausflußmenge ist daher

$$0{,}608 \times 1{,}072 = 0{,}652$$

und die effektive Ausflußmenge

$$0{,}652 \times 0^{mc},909 = 0^{mc},593.$$

Drittes Beispiel.

Wie groß ist unter denselben Umständen die Ausflußmenge, wenn noch die zweite vertikale Seite der Oeffnung mit der Wand des Reservoirs zusammenfällt?

Die Contraktion hat nun nur noch an einer Seite statt, der Coefficient ist daher

$$0{,}608 \times 1{,}125 = 0{,}684$$

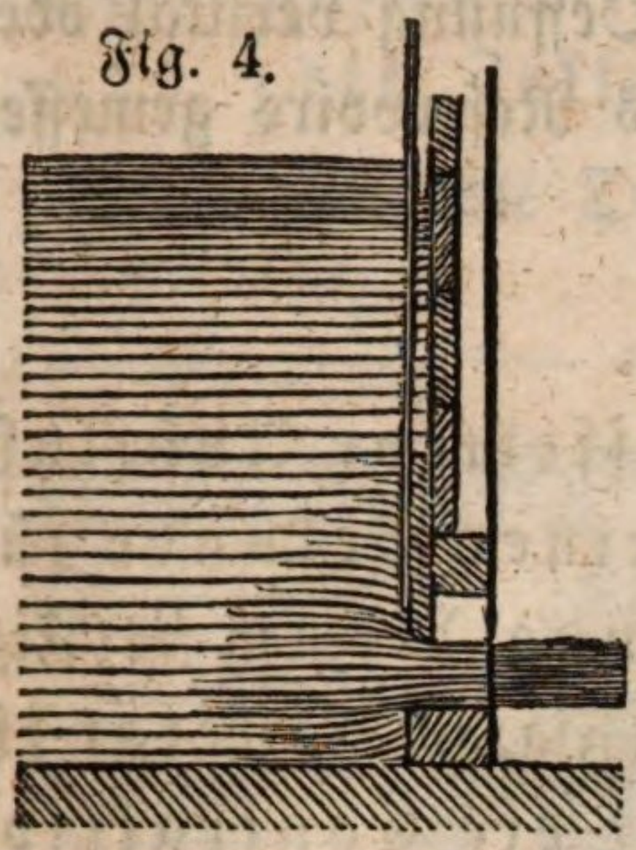
und die effektive Ausflußmenge

$$0{,}684 \times 0^{mc},909 = 0^{mc},622.$$

Schützen bei Schleusen.

16. Die Schützöffnungen bei Schleusen haben gewöhnlich ihre

Fig. 4.



Sohle sehr nahe am Boden. Dort hat man die Regel:

Um die effektive Ausflußmenge zu erhalten, multiplizire man die theoretische mit 0,625.

Diese Regel ist auf untergetauchte wie auf Oeffnungen anwendbar, die in die freie Luft münden.

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in einer Sekunde durch eine Schützöffnung eines Schleusenthors, welche $0^m,50$ Höhe und $0^m,70$ Weite hat, in die freie Luft, wenn der Wasserstand $2^m,50$ über der Sohle beträgt?

Die theoretische Ausflußmenge ist nach der Regel der Nr. 9

$$0,50 \times 0,70 \times 4,43 \times \sqrt{2,25} = 2^{mc},325.$$

Die effektive daher

$$0,625 \times 2^{mc},325 = 1^{mc},453.$$

Nahe liegende Oeffnungen.

17. Die neuesten Untersuchungen von Castel in Toulouse haben gezeigt, daß nahe stehende Ausflußöffnungen nicht, wie man bisher annahm, einen Einfluß auf einander ausüben. Man wird also für nahe stehende Oeffnungen dieselben Coefficienten nehmen, die man für jede alleinstehend genommen hätte.

Geneigte Schützen.

18. Sind beide Seiten der Oeffnung und ihre Sohle in der Verlängerung der Wände des Reservoirs und ist die Schütze überdieß geneigt, so ist der Coefficient der Ausflußmenge für

eine Neigung der Schütze von	1	Grundlinie auf 2 Höhe . . .	0,74
	1	„ „ 1 „ . . .	0,80

Diese Anordnung findet man gewöhnlich bei Wasserrädern mit krummen Schaufeln.

Es ist klar, daß hierbei die Höhe der Oeffnung vertikal oder genauer, rechtwinklich auf den Boden des Reservoirs gemessen werden muß.

Hieraus erhält man folgende Regel:

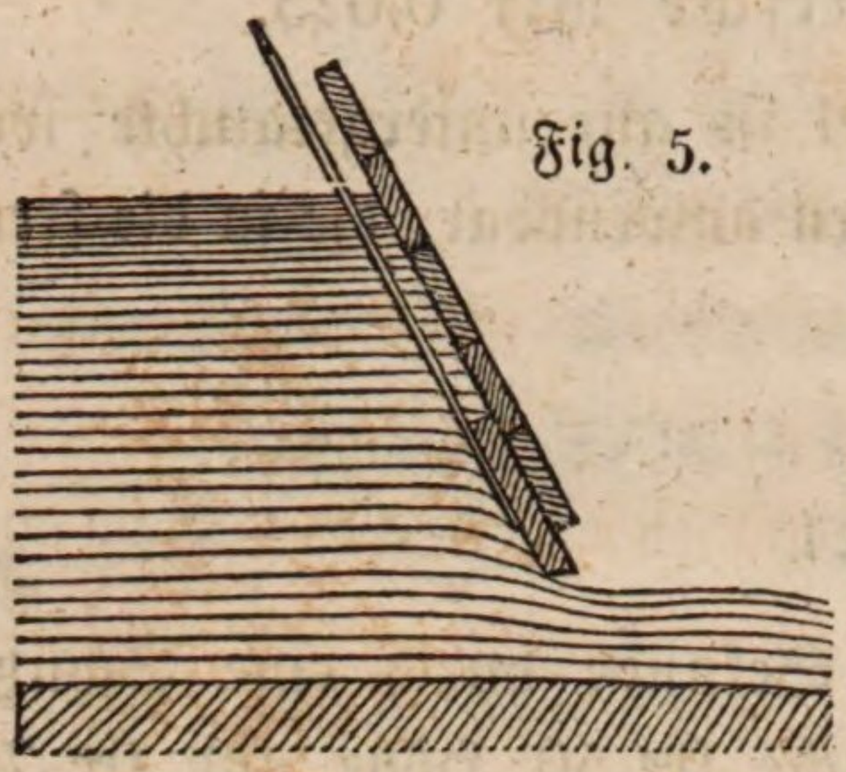


Fig. 5.

Um die effektive Ausflußmenge in einer Sekunde für eine Oeffnung, die um ½ (Fig. 5) oder 1/1 (Fig. 6) geneigt ist, und bei der die Contraktion nur an der obern Seite statt findet, zu erhalten, multiplizire man die theoretische Ausflußmenge im ersten Fall mit 0,74, im zweiten mit 0,80.

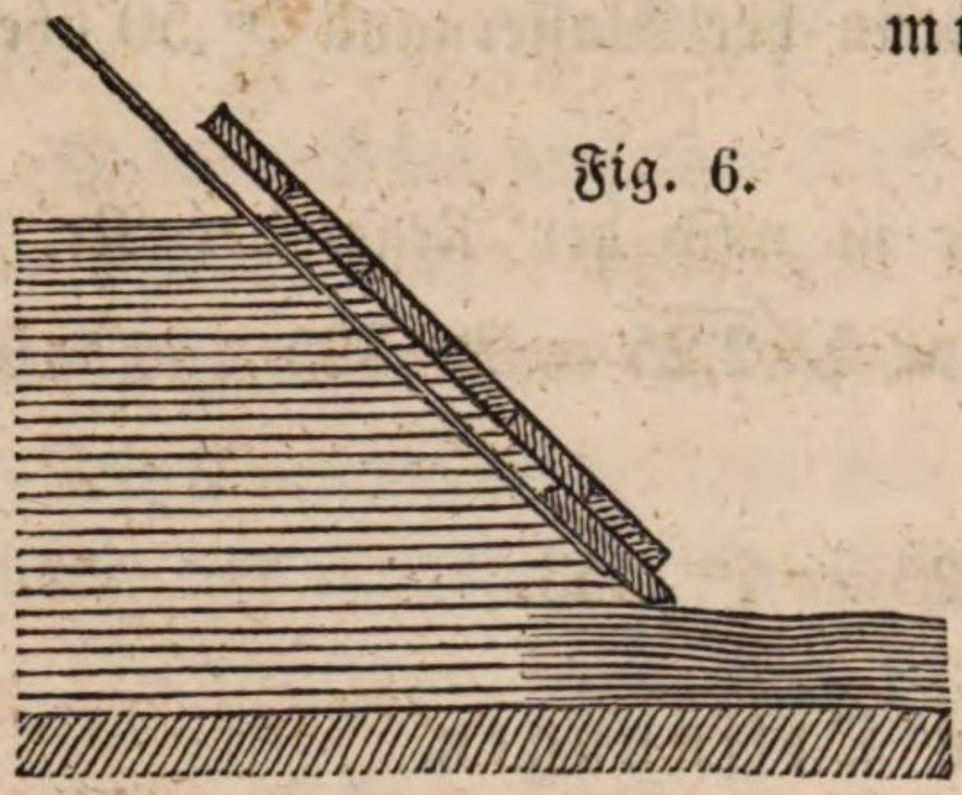


Fig. 6.

Erstes Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in einer Sekunde durch eine Oeffnung von 1^m Weite und $0^m,20$ Höhe, wenn diese so geneigt ist, daß auf die Grundlinie 1 die Höhe 2 kommt, bei $1^m,50$ Wasserstand über der Sohle, wenn nur am obern Rand der Oeffnung Zusammenziehung statt findet?

Die theoretische Ausflußmenge ist

$$1 \times 0{,}20 \times 4{,}43 \times \sqrt{1{,}40} = 1^{mc},048$$

und die effektive

$$0{,}74 \times 1^{mc},048 = 0^{mc},776.$$

Zweites Beispiel.

Welches würde aber die effektive Ausflußmenge seyn, wenn bei derselben Oeffnung die Schütze um 1 auf 1 oder unter 45° geneigt wäre?

Die theoretische Ausflußmenge ist noch $1^{mc},048$

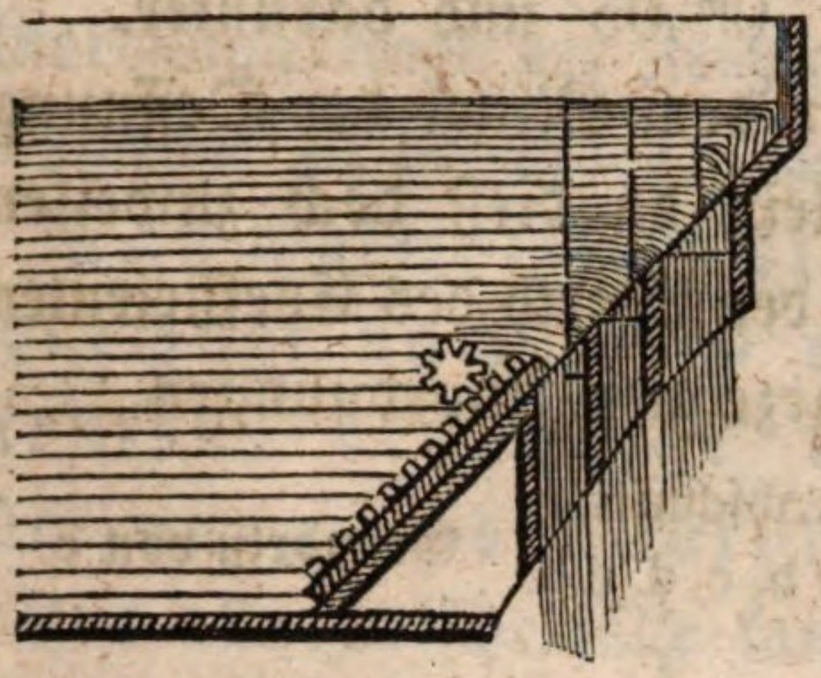
und die effektive nun

$$0{,}80 \times 1^{mc},048 = 0^{mc},838.$$

Oeffnungen mit Ansätzen, welche das Wasser in die Zellen der Wasserräder leiten.

19. Sind die Oeffnungen mit Ansätzen versehen, bestimmt, das Wasser in Zellen zu führen, wie man das häufig bei oberschlächtigen Wasserrädern ausführt, so erhält man die effektive Wassermenge durch folgende Regel:

Fig. 7.



Man berechne die theoretische Ausflußmenge für jede der Oeffnungen oder Ansätze, welche die Schütze frei läßt, wobei man für die Fläche den kleinsten Querschnitt des Ansatzes und für die Druckhöhe den Wasserstand über der Mitte dieses kleinsten Querschnittes nimmt; die theoretischen Ausflußmengen der verschiedenen Oeffnungen addire man, und multiplizire die Summe mit 0,75; das Resultat ist die effektive Ausflußmenge.

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 1″ durch eine Oeffnung von 40° Neigung und $2^{m},63$ Weite, welche aus drei Theilen zusammengesetzt ist, für welche man folgende Daten der Beobachtung hat?

	Breite.	Höhe.	Wasserstand über der Mitte	Theoretische Ausflußmenge
	m	m	m	mc
1. Oeffnung	2,63	0,070	0,120	0,282
2. „	2,63	0,070	0,260	0,416
3. „	2,63	0,045	0,346	0,308
Ganze theoretische Ausflußmenge				$1^{mc},006$.

Die effektive Ausflußmenge ist $0,75 \times 1^{mc},006 = 0^{mc},754$.

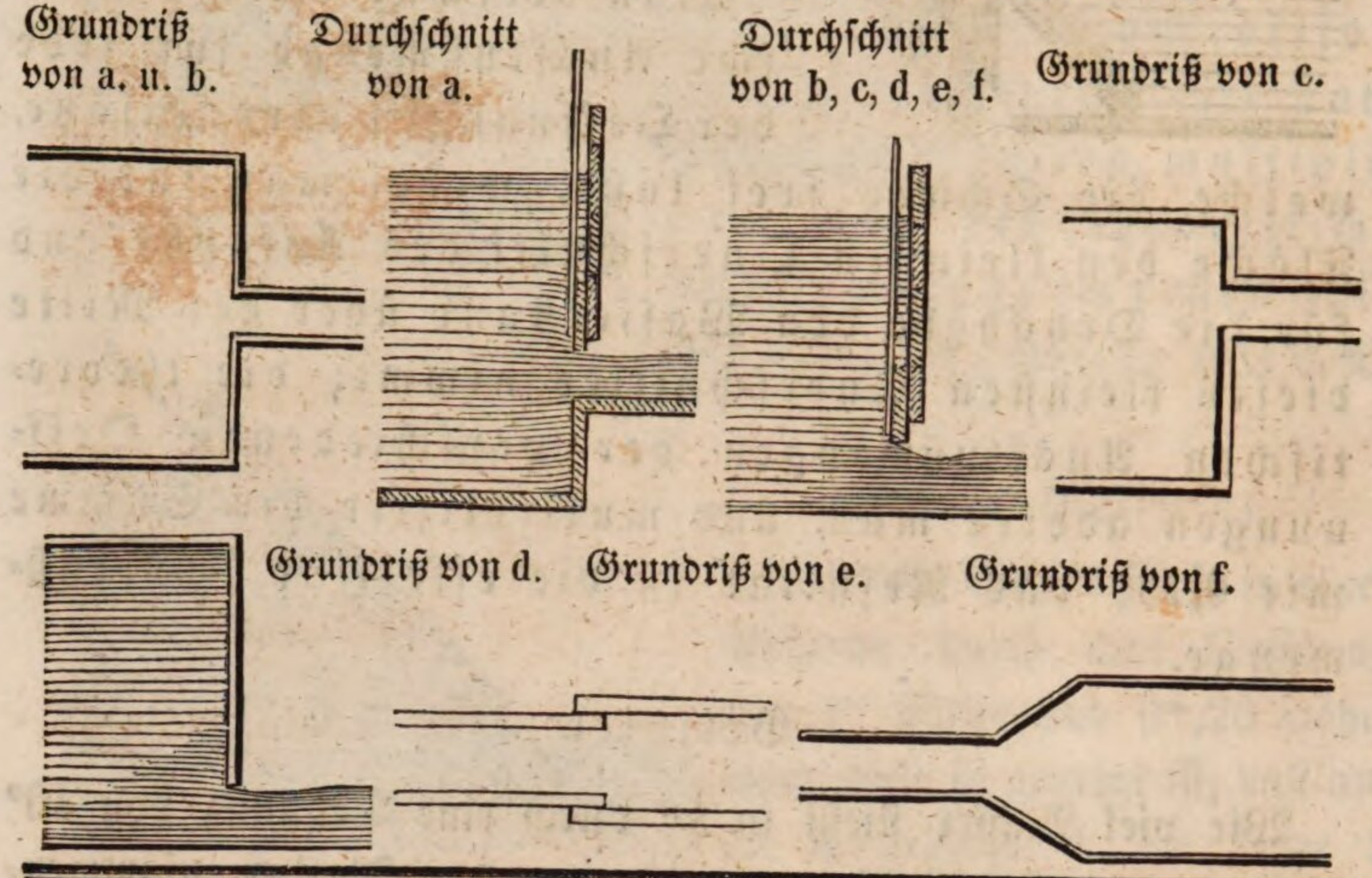
Oeffnungen mit einem Gerinne.

20. Die Ausflußöffnungen sind meistens mit einem mehr oder weniger geneigten Gerinne oder einem Kanale verbunden. Nach den Erfahrungen von Bossut und den neuern von Poncelet und Lesbros übt die Gegenwart des Gerinnes keinen bemerkenswerthen

Einfluß auf die Ausflußmenge aus, ſobald der Waſſerſtand über der Mitte nicht unter

$0^m,50$ bis $0^m,60$ für Oeffnungen von $0^m,20$ bis $0^m,15$ Höhe iſt.
$0^m,30$ „ $0^m,40$ „ „ „ $0^m,10$
$0^m,20$ „ „ „ $0^m,05$ und darunter.

Selten nur iſt der Waſſerſtand über dem Mittel der Oeffnung unter den angegebenen Grenzen; allein da dieß doch zuweilen vorkommt, ſo gibt die folgende Tafel den Werth des Coefficienten für die verſchiedenen, in Fig. 8 angezeigten Anordnungen.



Höhe der Oeffnung	Waſſerſtand über der Mitte der Oeffnung.	Coefficienten der Ausflußmengen für die Anordnungen a.	b.	c.	d.	e.	f.
0,20	0,40	0,591	0,580	0,582	0,577	0,603	0,597
	0,24	0,559	0,552	0,550*	0,548	0,576	0,573
	0,12	0,483	0,482	0,484	0,485	0,484	0,483*
0,10	0,16	0,590	0,580*	0,583*	0,585*	0,606*	0,604*
	0,11	0,562	0,560*	0,561*	0,562*	0,566*	0,564*
	0,09	0,523	0,522*	0,522*	0,517*	0,510*	0,510*
	0,06	0,464	0,463*	0,462*	0,462*	0,460*	0,460*
0,05	0,20	0,631	0,615	0,618*	0,622	0,636	0,628
	0,11	0,614	0,597	0,598	0,601	0,610	0,609
	0,05	0,495	0,493	0,486	0,490	0,462	0,501
	0,04	0,452	0,443	0,442*	0,442	0,417*	„
0,03	0,20	0,632	0,631*	0,632*	0,635	0,650*	0,651*
	0,06	0,627	0,605*	0,602*	0,607	0,572*	0,594*

Anmerkung. Die mit einem Stern (*) bezeichneten Zahlen sind durch Einschaltung berechnet.

Mit Hilfe dieser Werthe der Coefficienten für die Ausflußmenge ist es leicht bei kleinen Wasserständen für Oeffnungen, deren Anordnung einer der Zeichnungen analog ist, die effektive Ausflußmenge zu berechnen; man befolgt die Regel:

Man multiplizirt die theoretische Ausflußmenge, berechnet nach Nr. 9 oder Nr. 10, mit dem Coefficienten, den obige Tafel für diese Druckhöhe, Oeffnung und Anordnung gibt.

Für alle Zwischenfälle kann man mit genügender Annäherung von den nächstliegenden Coefficienten ein proportionales Mittel nehmen.

Beispiele.

Anordnung a. Welches ist die effektive Ausflußmenge in 1″ durch eine Oeffnung von $0^m,65$ Breite und $0^m,20$ Höhe bei einem Wasserstande von $0^m,24$ über der Mitte bei der Anordnung a?

Die theoretische Ausflußmenge (Nr. 9) ist

$$0,65 \times 0,20 \times 4,43 \times \sqrt{0,24} = 0^{me},282.$$

Der Coefficient ist hier nach der vorhergehenden Tafel $= 0,559$.

Die effektive Ausflußmenge ist

$$0,559 \times 0^{mc},282 = 0^{mc},158.$$

Anordnung b. Welches ist die effektive Ausflußmenge in 1″ durch eine Oeffnung von $0^m,80$ Weite, $0^m,10$ Höhe bei einer Druckhöhe von $0^m,09$ über der Mitte bei der Anordnung b?

Die theoretische Ausflußmenge

$$= 0,80 \times 0,10 \times 4,43 \sqrt{0,09} = 0^{mc},106.$$

Der Coefficient der Ausflußmenge ist 0,522.

Die effektive Ausflußmenge $= 0,522 \times 0^{mc},106 = 0^{mc},0554$.

Anordnung c. Welches ist die effektive Ausflußmenge in 1″ durch eine Oeffnung von $0^m,70$ Weite, $0^m,05$ Höhe bei einer Druckhöhe von $0^m,05$ über der Mitte und der Anordnung c?

Die theoretische Ausflußmenge

$$= 0,70 \times 0,05 \times 4,43 \times \sqrt{0,05} = 0^{mc},0347.$$

Der Coffficient $= 0,486$.

Die effektive Ausflußmenge

$$= 0,486 \times 0^{mc},0347 = 0^{mc},0169.$$

Anordnung d. Welches ist die wirkliche Ausflußmenge in 1″ durch eine Oeffnung von $0^m,55$ Weite, $0^m,15$ Höhe bei einer Druckhöhe von $0^m,12$ über der Mitte und bei der Anordnung d?

Die theoretische Ausflußmenge

$$= 0,55 \times 0,15 \times 4,43 \times \sqrt{0,12} = 0^{mc},1265.$$

Der Coefficient ist

$$\frac{0,485 + 0,562}{2} = 0,523.$$

Die effektive Ausflußmenge $= 0,523 \times 0^{mc},1265 = 0^{mc},0662.$

Anordnung e. Welches ist die effektive Ausflußmenge in 1″ durch eine Oeffnung von $1^m,10$ Weite und $0^m,10$ Höhe bei einer Druckhöhe von $0^m,11$ über der Mitte und der Anordnung e?

Die theoretische Ausflußmenge

$$= 1,10 \times 0,10 \times 4,43 \times \sqrt{0,11} = 0^{mc},161.$$

Der Coefficient $= 0,566.$

Die effektive Ausflußmenge $= 0,566 \times 0^{mc},161 = 0^{mc},0911.$

Anordnung f. Welches ist die effektive Ausflußmenge in 1″ durch eine Oeffnung von $0^m,90$ Weite und $0^m,20$ Höhe bei einer Druckhöhe von $0^m,12$ über der Mitte der Oeffnung und der Anordnung f?

Die theoretische Ausflußmenge

$$= 0,90 \times 0,20 \times 4,43 \times \sqrt{0,12} = 0^{mc},276.$$

Der Coefficient ist 0,483.

Die effektive Ausflußmenge $= 0,483 \times 0^{mc},276 = 0^{mc},1335.$

Ausflußöffnungen mit pyramidalen Ansätzen.

21. Man trifft zuweilen noch bei älteren Anlagen Ausflußöffnungen mit pyramidalen Ansätzen von Holz, durch welche das Wasser auf Wasserräder von verschiedener Art gebracht wird.

Sind diese Ausflußröhren innen mit Rahmen von Holz oder von Eisen zusammengehalten, so ist die effektive Ausschlußmenge in 1″

$$\mathbf{Q = 0,864\, L\, E . \sqrt{2\, g\, H} = 3,83\, L\, E \sqrt{H}}\ ^*),$$

---

*) Expériences sur les roues hydrauliques à axe vertical, par M. M. Piobert et Tardy. 1840.

darin ist

L die horizontale Weite,

E die Höhe des Rahmens, der am Ende der Ansatzröhre angebracht ist, und

H die Höhe des Wasserstandes über der Mitte dieses Rahmens.

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 1″ durch den pyramidalen Ansatz des ersten Mahlgangs der Canalmühle zu Toulouse, bei dem

$$\mathbf{L} = 0^{m},193,\quad \mathbf{E} = 0^{m},208,\quad \mathbf{H} = 3^{m},653 \text{ ist.}$$

Die Formel gibt

$$\mathbf{Q} = 0{,}864 \times 0{,}193 \times 0{,}208 \times \sqrt{2\,g \times 3{,}653} = 0^{mc},2938.$$

Der direkte Versuch gab $0^{mc},2937$.

Sind keine Rahmen von Holz oder Eisen vorhanden, welche durch ihr Hervorragen Zusammenziehungen in dem Ausflußrohr hervorbringen, so ist

$$\mathbf{Q} = 0{,}964\,\mathbf{L}\,\mathbf{E}\sqrt{2\,g\,\mathbf{H}} = 4{,}27\,\mathbf{L}\,\mathbf{E}\sqrt{\mathbf{H}}.$$

Beispiel.

Welche Wassermenge fließt in einer Sekunde durch den Ansatz des zweiten Mahlgangs der Canalmühle zu Toulouse, bei dem

$$\mathbf{L} = 0^{m},180,\quad \mathbf{E} = 0^{m},203,\quad \mathbf{H} = 3^{m},378 \text{ ist.}$$

Die Formel gibt

$$\mathbf{Q} = 0{,}964 \times 0{,}180 \times 0{,}203 \times \sqrt{2\,g \times 3{,}378} = 0^{mc},2867.$$

Der direkte Versuch hat dieselbe Menge gegeben.

Oeffnungen mit einem Gerinne mit vertikalen Seiten, die sich nach und nach bis auf $^1/_4$ oder $^1/_5$ der Breite der Ausflußöffnung nähern.

22. Bei Toulouse, Metz und anderwärts findet man Wasserräder, auf welche das Wasser von einer Schützöffnung durch ein wenig gegen den Horizont geneigtes Gerinne geführt wird. Die eine der vertikalen Seitenwände dieses Gerinnes steht rechtwinklich auf der Schützöffnung, die andere ist geneigt gegen die erste, so daß das Gerinne, das ungefähr die 5fache Weite der Schütze zur

Länge hat, am Ende nur noch $^1/_4$ oder $^1/_5$ der Breite der Schützöffnung zur horizontalen Weite behält.

In diesen Fällen bildet sich abwärts von der Schütze im Gerinne, ein Aufstau, der um so bedeutender ist, je mehr die Schütze gehoben wird. Man berechnet die Ausflußmenge für die gewöhnlichen Bedürfnisse hinreichend genau nach der Formel:

$$Q = m\,L\,E\,\sqrt{2\,g\,H},$$

in der **L**, **E** und **H** die Weite und Höhe der Schützöffnung und die Höhe des Wasserstands über ihrer Mitte bedeuten, und in der **m** aus folgender Tafel genommen wird.

Werth von $\frac{E}{L}$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
Werth von **m**	0,740	0,700	0,660	0,630	0,590	0,550	0,520	0,480

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 1 Sekunde durch die Schütze der Hospitalmühle zu Toulouse, wenn

$$L = 0^m,67;\quad E = 0^m,1675;\quad H = 2^m,09 \text{ ist?}$$

Man hat $\frac{E}{L} = 0,25$, also

$$m = 0,630 \text{ und}$$

$$Q = 0,630 \times 0,67 \times 0,1675 \times \sqrt{2\,g \times 2,09} = 0^{mc},453.$$

Der direkte Versuch gab $0^{mc},438$.

Ausflußöffnungen mit cylindrischen Ansätzen.

23. Wird eine kreisförmige Oeffnung mit einer cylindrischen Ausflußröhre von gleichem Durchmesser versehen, so wird die ausfließende Wassermenge eine andere. Die Versuche von Eytelwein zeigen, daß sich die Ausflußmenge mit der Länge des Ansatzrohrs ändert. Um die effektive Ausflußmenge zu erhalten, hat man die theoretische, die nach Nr. 9 berechnet wird, mit folgenden Zahlen zu multipliciren.

Verhältniß der Länge des Ansatzrohrs zum Durchmesser.	Coefficient der theoretischen Ausflußmenge.
1 und darunter	0,62
2 bis 3	0,82
12	0,77
24	0,73
36	0,68
48	0,63
60	0,60

Ist die Ansatzröhre länger, so kann man die Ausflußmenge nach den Regeln in Nr. 59 für die Leitungen berechnen.

Beispiel.

Welches Volum Wasser fließt unter einem Dreiecke von $1^m,25$ über der Mitte der cylindrischen Ansatzröhre von $0^m,05$ Durchmesser und $0^m,15$ Länge in 1″ aus dieser?

Die theoretische Ausflußmenge ist

$$0,785 \times (0,05)^2 \times \sqrt{2\,g \times 1,25} = 0^{mc},00971$$

Die effektive Ausflußmenge ist dann

$$0,82 \times 0^{mc},00971 = 0^{mc},00796.$$

Wäre die Ansatzröhre 36mal so lang als weit, so wäre die Ausflußmenge

$$0,68 \times 0^{mc},00971 = 0^{mc},00661.$$

Man sieht hieran den Einfluß der Länge des Ausflußrohrs.

Ausflußöffnungen mit convergenten conischen Ansatzröhren.

24. Sind die Ansatzröhren convergent, so nimmt man für die Größe der Ausflußöffnung die äußere, kleinere, und für **H** die Höhe des Wasserstandes über der Mitte dieser Oeffnung. Dann wird die effektive Ausflußmenge erhalten, wenn man die theoretische Ausflußmenge mit dem aus der nachfolgenden Tafel genommenen Coefficienten multiplicirt.

Winkel der Convergenz.	Coefficienten der Ausfluß-menge.	Coefficienten der Geschwin-digkeit.
0° 0′	0,829	0,830
1 36	0,866	0,866
3 10	0,895	0,894
4 10	0,912	0,910
5 26	0,924	0,920
7 52	0,929	0,931
8 58	0,934	0,942
10 20	0,938	0,950
12 4	0,942	0,955
13 24	0,946	0,962
14 28	0,941	0,966
16 36	0,938	0,971
19 28	0,924	0,970
21 0	0,918	0,971
23 0	0,913	0,974
29 58	0,896	0,975
40 20	0,869	0,980
48 50	0,847	0,984

Diese Tafel von Castel bezieht sich auf Ansatzröhren, deren Länge 2,6 mal so groß als der Durchmesser am äußern Ende ist.

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 1″ durch eine convergente Ansatzröhre von $0^m,012$ Durchmesser, $0^m,030$ Länge bei einem Wasserdruck von 5^m Höhe, wenn der Winkel der Convergenz 12° beträgt?

Die theoretische Ausflußmenge ist

$$0,785 \times (0,012)^2 \times \sqrt{2\,g \times 5} = 0^{mc},00112.$$

Der Coefficient für 12° ist 0,942, also die effektive Ausflußmenge

$$Q = 0,942 \times 0^{mc},00112 = 0^{mc},001055.$$

Geschwindigkeit, mit der das Wasser aus den Ansatzröhren ausfließt.

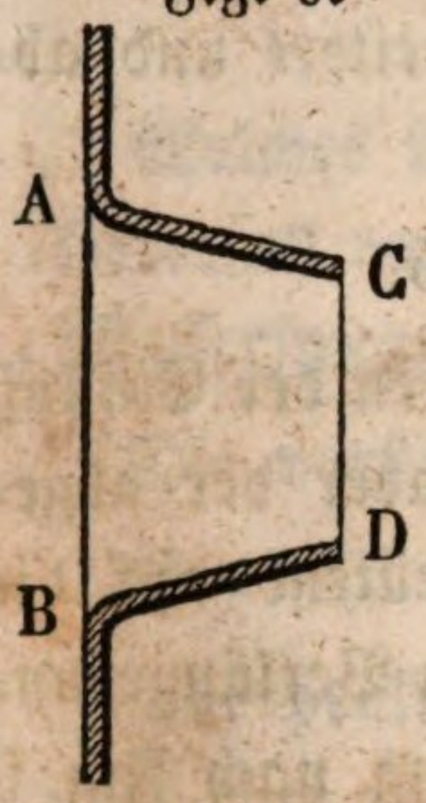
25. Man erhält diese Geschwindigkeit, wenn man die theoretische $\sqrt{2\,g\,H}$ mit dem Coefficienten der dritten Spalte obiger

Tafel multiplizirt. So ist die Geschwindigkeit des Wassers in dem letzten Beispiele

$$= 0{,}955 \times \sqrt{2\,g \times 5} = 9^{m},455.$$

Will man die größtmögliche Wassermenge, welche man bei einem Drucke erhalten kann, ausfließen lassen, so gibt man der Ansatzröhre bei der Mündung gegen das Reservoir einen Durchmesser **A B** (Fig. 9) gleich 1, 2 dem Durchmesser **C D**, macht die Entfernung beider gleich **C D**, und rundet dann die Ränder bei **A B** ab.

Fig. 9.



Daran muß man dann eine cylindrische oder noch besser eine divergirende Röhre setzen, welche 9 mal so lang als der Durchmesser der kleinern Grundfläche ist, und etwa 5° divergirt.

Nach den Versuchen von Eytelwein kann man die effektive Wassermenge, welche man durch solche Ansatzröhren erhält, auf folgende Weise berechnen.

Man bestimmt zuerst die effektive Wassermenge, welche die cylindrische Ansatzröhre für sich gegeben hätte, nach Nr. 23. Dann multiplicirt man diese Ausflußmenge durch die Coefficienten der folgenden Tafel, die sich auf die verschiedenen Verhältnisse zwischen der Länge und dem Durchmesser des kleinsten Querschnitts der Röhre beziehen.

Verhältniß der Länge der Röhre zu ihrem kleinsten Durchmesser.	Coefficienten für die erweiterte Mündung	
	ohne Eintrittsröhre.	mit Eintrittsröhre.
1 und darunter	1,56	"
2 bis 3	1,15	1,35
12	1,13	1,27
24	1,10	1,24
36	1,09	1,23
48	1,09	1,21
60	1,08	1,17

Beispiel.

Welche Wassermenge würde durch die Röhre des ersten Beispiels in Nr. 23 ausfließen, wenn man zuerst eine wie angegeben

erweiterte Mündung anfügte, und dann noch eine conische Röhre zum Eingange?

Die cylindrische Röhre würde $0^{mc},00796$ Wasser geben. Die erweiterte Mündung steigert dieß auf

$$Q = 1{,}15 \times 0^{mc},00796 = 0^{mc},00916.$$

Wird auch noch der Anfang der Ansatzröhre erweitert und abgerundet, so erhält man

$$Q = 1{,}35 \times 0^{mc},00796 = 0^{mc},01075.$$

Anmerkung. Man sieht, wie für lange Röhren der Einfluß der erweiterten Mündung unmerklich wird, daß aber der abgerundete und conische Eingang noch ziemlich bedeutend auf die Ausflußmenge einwirkt. Man wird also bei allen Verlängerungen in Röhrenleitungen mit Vortheil den Eingang nach Fig. 9 formen.

Wassermenge bei Ueberfällen.

26. Das Volum Wasser, welches in 1″ durch einen Ueberfall fließt, erhält man mittelst folgender Formel:

$$Q = m\,L\,H\sqrt{2\,g\,H},$$

Fig. 10.

in welcher

Q das Volum in Kubikmetern ist,

L die Weite des Ueberfalls,

H die Höhe des Wasserspiegels im Reservoir über der Sohle des Ueberfalls oder über der herabgelassenen Schütze, über welche (Fig. 10) das Wasser fließt. Diese Höhe muß an einem Orte gemessen seyn, wo die Senkung des Wasserspiegels, welche bei dem Ueberfalle eintritt, noch nicht merklich ist,

$2\,g = 19^{m},62$,

m ein Coefficient, welcher nach den Erfahrungen von Poncelet und Lesbros folgende Werthe hat:

Werthe von H	m 0,01	m 0,02	m 0,03	m 0,04	m 0,06	m 0,08	m 0,10	m 0,15	m 0,20	m 0,22
Werthe von m	0,424	0,417	0,412	0,407	0,401	0,397	0,395	0,393	0,390	0,385

In den gewöhnlichen Fällen und in den Grenzen der Praxis kann man im Mittel $m = 0{,}405$ nehmen, so daß man die praktische Formel für die Wassermenge bei Ueberfällen

$$Q = 0{,}405\, L\, H \sqrt{2\, g\, H} = 1{,}79\, L\, H \sqrt{H}$$

hat.

Erstes Beispiel.

Welches ist die Wassermenge, welche man in 1″ durch einen Ueberfall von 10^m Weite erhält, dessen Sohle $0^m{,}20$ unter dem Wasserspiegel im Reservoir liegt?

Die vorstehende Formel gibt

$$Q = 0{,}390 \times 10 \times 0{,}20 \times 4{,}43 \times \sqrt{0{,}20} = 1^{mc}{,}544.$$

Die praktische Regel

$$Q = 1{,}79 \times 10 \times 0{,}20 \times \sqrt{0{,}20} = 1^{mc}{,}604.$$

Zweites Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 1″ über eine Schütze von 3^m Breite, welche einen Ueberfall bildet, und $0^m{,}15$ unter den Wasserspiegel im Reservoir gesenkt ist?

Die Formel gibt

$$Q = 0{,}393 \times 3 \times 0{,}15 \times 4{,}43 \times \sqrt{0{,}15} = 0^{mc}{,}303.$$

Bemerkung über das Messen des Wasserstandes im Reservoir über der Sohle des Ueberfalls.

27. Bei Anwendung der angeführten Formel und Regel muß man, wie bereits in Nr. 26 gesagt wurde, die Höhe des Wasserspiegels im Reservoir über der untern Seite der Oeffnung an einem Ort messen, wo sich der Wasserspiegel noch nicht merklich gesenkt hat, was erfordert, daß das Reservoir in einer Entfernung von wenigstens 1^m von dem Ueberfall geöffnet werde, und daß man eine horizontale Linie ziehen könne.

Ist der Ueberfall weniger breit als das Reservoir, so ist das Niveau in den Winkeln zur Seite des Ueberfalls in gleicher Höhe wie in hinreichend großer Entfernung oberhalb. Es genügt daher die Höhe des Wassers über dem Fachbaum in diesen Punkten zu messen, um **H** oder die Druckhöhe zu haben.

Der Ueberfall hat die nämliche Breite, wie der Zuleitungskanal.

28. Hat der Ueberfall dieselbe Breite wie der Kanal, welcher das Wasser zuführt, und ist die Tiefe dieses Kanals nahezu dem Wasserstande über dem Fachbaum gleich, so wird die Ausflußmenge größer, und der Coefficient mit dem man das Produkt $H L \sqrt{2 g H}$ multipliziren muß, wird im Mittel ungefähr 0,42 *).

Fall, wo man nur die Dicke der Wasserschichte messen kann, welche durch den Ueberfall fließt.

29. Ist das Reservoir bedeckt, oder kann man die Höhe des Niveaus im Reservoir über der Sohle des Ueberfalls nicht bestimmen, so muß man sich begnügen, die Dicke der Wasserschichte zu messen, welche über den Fachbaum fließt.

Hier mißt man nun diese Dicke unmittelbar über der innern Kante der Sohle oder Schütze (Fig. 10) und berechnet daraus die Höhe **H** des Niveaus im Reservoir über der Sohle der Oeffnung annähernd mit Hilfe der Relation

$H = 1{,}178\,h$, wenn die Breite des Ueberfalls $^4/_5$ von der des Reservoirs ist.
$H = 1{,}25\,h$, " " " " " gleich ist der " "

Dabei ist **h** die gemessene Dicke der Wasserschichte.

Beispiel.

Wie viel Wasser fällt in 1″ über einen Ueberfall von 5^m Breite, wenn das Wasser über der innern Kante des Ueberfalls $0^m{,}12$ hoch fließt?

Die Höhe des Wasserspiegels im Reservoir über der Sohle des Ueberfalls ist

$$H = 1{,}25 \times 0^m{,}12 = 0^m{,}15$$ und die Wassermenge in 1″

$$Q = 0{,}42 \times 5 \times 0{,}15 \times 4{,}43 \sqrt{0{,}15} = 0^{mc}{,}539.$$

---

*) Expériences sur l'écoulement de l'eau par les déversoirs, faites au Château d'eau de Toulouse, par M. Castel. Note de M. D'aubuisson, annales des mines, 3e série, tome IX, 2 livraison de 1836.

Ueberfälle mit Gerinnen.

30. Ist ein Ueberfall mit einem wenig geneigten Gerinne versehen, so ist die Abflußmenge eine andere, und zwar muß man dann, nach den Erfahrungen von Poncelet und Lesbros, das Produkt

$$L\,H\sqrt{2\,g\,H}$$

durch folgende Zahlen multipliciren, je nach der Anordnung a, b, d, e, f in Fig. 8 unter Nr. 20.

Wasserstände über der Sohle.	Coefficienten von $L\,H\sqrt{2\,g\,H}$				
	a.	b.	d.	e.	f.
m					
0,21	0,319	0,324	0,322	0,324	0,336
0,15	0,314	0,313	0,314	"	"
0,10	0,305	0,303	0,303	0,308	0,315
0,06	0,283	0,281	0,280	0,271	0,287
0,04	0,272	0,259	0,257	0,246	0,260
0,03	0,227	0,227	"	"	"

Erstes Beispiel.

Anordnung a. Wie viel Wasser strömt in 1″ durch einen Ueberfall von $4^m,30$ Breite in ein Gerinne, das $1/10$ Neigung hat, und dessen Sohle $0^m,25$ unter dem Wasserspiegel des Reservoirs liegt?

Der entsprechende Coefficient ist 0,319 und die Wassermenge

$$Q = 0{,}319 \times 4{,}30 \times 0{,}25 \times 4{,}43 \times \sqrt{0{,}25} = 0^{mc},758.$$

Zweites Beispiel.

Anordnung d. Wie viel Wasser fließt in 1″ durch einen Ueberfall von $3^m,20$ Breite in ein Gerinne von der Neigung $1/20$, wenn die Sohle $0^m,10$ unter dem Wasserspiegel des Reservoirs liegt?

Der hier entsprechende Coefficient ist 0,303, die Wassermenge

$$0{,}303 \times 3{,}20 \times 0{,}10 \times 4{,}43\sqrt{0{,}10} = 0^{mc},136.$$

Drittes Beispiel.

Anordnung I. Welche Wassermenge fließt in 1″ durch einen Ueberfall von 5^{m} Breite in ein Gerinne, dessen Sohle 0^{m},20 unter dem Niveau im Reservoir liegt?

Der Coefficient ist hierbei 0,336 und das ausströmende Volumen in 1 Sekunde

$$Q = 0{,}336 \times 5 \times 0{,}20 \times 4{,}43 \times \sqrt{0{,}20} = 0^{mc},665.$$

Bestimmungen der Wassermengen.

Einleitung.

31. Die vorstehenden Formeln und Regeln geben das beste Mittel, die Wassermenge eines Baches zu bestimmen, wenn es möglich ist, sie anzuwenden, weil sie auf die Resultate genauer Versuche gegründet sind; allein man kann die Wassermenge zu bestimmen haben, welche ein Bach oder ein Kanal liefert, an dem kein Wehr oder keine regelmäßige Mündung vorhanden ist.

Bestimmungsart der alten Brunnenmeister. Wasserzoll.

32. Wenn die Brunnenmeister in früherer Zeit die Wassermenge einer nicht sehr bedeutenden Quelle bestimmen wollten, so wurde diese mit Holz gefaßt, worauf man in die Wände dieser Fassung in gleicher Höhe Löcher von 1″ Durchmesser bohrte, welche durch Stopfer geschlossen werden konnten. War dieß geschehen, so öffnete man so viele dieser Löcher, daß das Niveau sich eine Linie über dem obern Rand derselben konstant erhielt. In dieser Lage strömte durch alle Oeffnungen zusammen eben so viel Wasser aus, als die Quelle lieferte, und man schätzte die Wassermenge der Quelle nach der Anzahl der Löcher, welche man geöffnet hatte. Daher rührt die Benennung **Wasserzoll**, den man zur Einheit der Vergleichung nahm.

Die Wassermenge, welche einem Wasserzolle entspricht, ist

in 24 Stunden		19^{mc},1953
„ 1	„	0^{mc},7998
„ 1	Minute	0^{mc},01333
„ 1	Sekunde	0^{mc},0002222

Man versteht unter Wasserlinie, den 144sten Theil des Wasserzolls und unter Wasserpunkt, den 144sten Theil der Wasserlinie.

Diese Art der Bestimmung ist schwierig und verschiedenen Arten von Fehlern ausgesetzt. Für alle kleinen Wassermengen ist es einfacher und genauer, das Wasser über einen Ueberfall gehen zu lassen, und die Wassermenge nach den in Nr. 26 und weiter gegebenen Formeln und Regeln zu berechnen.

Bestimmung der Wassermenge bei offenen Kanälen mit regelmäßigem Querschnitte.

33. Hat ein Kanal auf eine bestimmte Länge ein konstantes Gefälle und denselben Querschnitt, so gibt es zwei Mittel, seine Wassermenge zu bestimmen.

Das erste besteht darin, genau das Nivellement der Oberfläche des Wassers auf die größtmögliche Länge anzustellen, und den Querschnitt, den benetzten Umfang und die Länge des regelmäßigen, nivellirten Theils zu messen.

Dann hat man, wenn

L die ganze Länge des regelmäßigen Theils des Kanals,

H das Gefälle der Oberfläche des Wassers auf diese Länge **L**,

A die Fläche des Profils,

S der benetzte Perimeter oder Umfang des Profils,

U die mittlere Geschwindigkeit des Wassers bedeutet, nach den Erfahrungen mehrerer Ingenieure, wie sie de Prony zusammengefaßt hat,

$$U = -0^m,072 + 56,86 \sqrt{\frac{AH}{SL}}$$

und die Wassermenge, welche der Kanal in 1″ liefert,

$$Q = A\,U.$$

34. Zur Erleichterung der Rechnung hat de Prony eine Tafel berechnet, welche hier folgt.

Tafel über die Bewegung des Wassers in regelmäßigen Kanälen und Bächen.

Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{AH}{SL}$	Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{AH}{SL}$	Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{AH}{SL}$
m		m		m	
0.01	0.0000005	0.40	0.0000673	0.79	0.0002282
0.02	0.0000010	0.41	0.0000702	0.80	0.0002335
0.03	0.0000016	0.42	0.0000732	0.81	0.0002389
0.04	0.0000023	0.43	0.0000763	0.82	0.0002444
0.05	0.0000030	0.44	0.0000794	0.83	0.0002500
0.06	0.0000038	0.45	0.0000826	0.84	0.0002556
0.07	0.0000046	0.46	0.0000859	0.85	0.0002613
0.08	0.0000055	0.47	0.0000892	0.86	0.0002670
0.09	0.0000065	0.48	0.0000926	0.87	0.0002728
0.10	0.0000075	0.49	0.0000960	0.88	0.0002786
0.11	0.0000086	0.50	0.0000996	0.89	0.0002846
0.12	0.0000098	0.51	0.0001031	0.90	0.0002906
0.13	0.0000110	0.52	0.0001068	0.91	0.0002966
0.14	0.0000123	0.53	0.0001104	0.92	0.0003027
0.15	0.0000136	0.54	0.0001142	0.93	0.0003089
0.16	0.0000150	0.55	0.0001180	0.94	0.0003151
0.17	0.0000165	0.56	0.0001219	0.95	0.0003214
0.18	0.0000180	0.57	0.0001258	0.96	0.0003277
0.19	0.0000196	0.58	0.0001298	0.97	0.0003342
0.20	0.0000213	0.59	0.0001339	0.98	0.0003406
0.21	0.0000230	0.60	0.0001380	0.99	0.0003472
0.22	0.0000247	0.61	0.0001422	1.00	0.0003538
0.23	0.0000266	0.62	0.0001465	1.01	0.0003604
0.24	0.0000285	0.63	0.0001508	1.02	0.0003672
0.25	0.0000304	0.64	0.0001551	1.03	0.0003739
0.26	0.0000325	0.65	0.0001596	1.04	0.0003808
0.27	0.0000346	0.66	0.0001641	1.05	0.0003877
0.28	0.0000367	0.67	0.0001686	1.06	0.0003947
0.29	0.0000389	0.68	0.0001733	1.07	0.0004017
0.30	0.0000412	0.69	0.0001779	1.08	0.0004088
0.31	0.0000435	0.70	0.0001827	1.09	0.0004159
0.32	0.0000459	0.71	0.0001875	1.10	0.0004232
0.33	0.0000484	0.72	0.0001924	1.11	0.0004304
0.34	0.0000509	0.73	0,0001973	1.12	0.0004378
0.35	0.0000534	0.74	0.0002023	1.13	0.0004452
0.36	0.0000561	0.75	0.0002073	1.14	0.0004527
0.37	0.0000588	0.76	0.0002124	1.15	0.0004602
0.38	0.0000616	0.77	0.0002176	1.16	0.0004678
0.39	0.0000644	0.78	0.0002229	1.17	0.0004754

Tafel über die Bewegung des Wassers in regelmäßigen Kanälen und Bächen.

Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{A\,H}{S\,L}$	Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{A\,H}{S\,L}$	Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{A\,H}{S\,L}$
m		m		m	
1.18	0.0004831	1.57	0.0008322	1.96	0.0012754
1.19	0.0004909	1.58	0.0008424	1.97	0.0012880
1.20	0.0004988	1.59	0.0008527	1.98	0.0013006
1.21	0.0005067	1.60	0.0008630	1.99	0.0013134
1.22	0.0005146	1.61	0.0008733	2.00	0.0013262
1.23	0.0005226	1.62	0.0008838	2.01	0.0013390
1.24	0.0005307	1.63	0.0008943	2.02	0.0013519
1.25	0.0005389	1.64	0.0009048	2.03	0.0013649
1.26	0.0005471	1.65	0.0009155	2.04	0.0013779
1.27	0.0005553	1.66	0.0009261	2.05	0.0013910
1.28	0.0005637	1.67	0.0009369	2.06	0.0014042
1.29	0.0005721	1.68	0.0009477	2.07	0.0014174
1.30	0.0005805	1.69	0.0009586	2.08	0.0014307
1.31	0.0005890	1.70	0.0009695	2.09	0.0014440
1.32	0.0005976	1.71	0.0009805	2.10	0.0014574
1.33	0.0006063	1.72	0.0009915	2.11	0.0014709
1.34	0.0006150	1.73	0.0010026	2.12	0.0014844
1.35	0.0006237	1.74	0.0010138	2.13	0.0014980
1.36	0.0006326	1.75	0.0010251	2.14	0.0015117
1.37	0.0006414	1.76	0.0010364	2.15	0.0015254
1.38	0.0006504	1.77	0.0010477	2.16	0.0015392
1.39	0.0006594	1.78	0.0010592	2.17	0.0015530
1.40	0.0006685	1.79	0.0010706	2.18	0.0015669
1.41	0.0006776	1.80	0.0010822	2.19	0.0015809
1.42	0.0006868	1.81	0.0010938	2.20	0.0015949
1.43	0.0006961	1.82	0.0011055	2.21	0.0016090
1.44	0.0007054	1.83	0.0011172	2.22	0.0016231
1.45	0.0007148	1.84	0.0011290	2.23	0.0016373
1.46	0.0007242	1.85	0.0011409	2.24	0.0016516
1.47	0.0007337	1.86	0.0011528	2.25	0.0016659
1.48	0.0007433	1.87	0.0011648	2.26	0.0016803
1.49	0.0007529	1.88	0.0011768	2.27	0.0016948
1.50	0.0007626	1.89	0.0011889	2.28	0.0017093
1.51	0.0007724	1.90	0.0012011	2.29	0.0017239
1.52	0.0007822	1.91	0.0012133	2.30	0.0017385
1.53	0.0007921	1.92	0.0012256	2.31	0.0017532
1.54	0.0008020	1.93	0.0012380	2.32	0.0017680
1.55	0.0008120	1.94	0.0012504	2.33	0.0017828
1.56	0.0008221	1.95	0.0012628	2.34	0.0017977

Tafel über die Bewegung des Wassers in regelmäßigen Kanälen und Bächen.

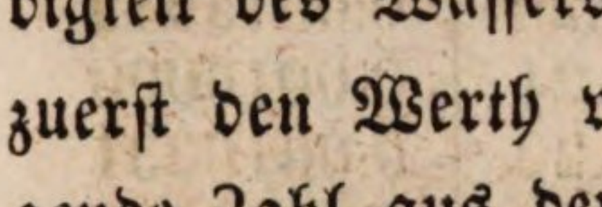
Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{AH}{SL}$	Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{AH}{SL}$	Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{AH}{SL}$
m		m		m	
2.35	0.0018126	2.57	0.0021572	2.79	0.0025318
2.36	0.0018277	2.58	0.0021736	2.80	0.0025495
2.37	0.0018427	2.59	0.0021900	2.81	0 0025673
2.38	0.0018579	2.60	0.0022065	2.82	0.0025851
2.39	0.0018731	2.61	0.0022231	2.83	0.0026031
2.40	0.0018883	2.62	0.0022397	2.84	0.0026210
2.41	0.0019037	2.63	0.0022564	2.85	0.0026391
2.42	0.0019190	2.64	0.0022731	2.86	0.0026572
2.43	0.0019345	2.65	0.0022900	2.87	0.0026754
2.44	0.0019500	2.66	0.0023068	2.88	0.0026936
2.45	0.0019656	2.67	0.0023238	2.89	0.0027119
2.46	0.0019812	2.68	0.0023407	2.90	0.0027302
2.47	0.0019869	2.69	0.0023578	2.91	0.0027487
2.48	0.0020126	2.70	0.0023749	2.92	0.0027671
2.49	0.0020285	2.71	0.0023921	2 93	0.0027857
2.50	0.0020443	2.72	0.0024093	2.94	0.0028043
2.51	0.0020603	2.73	0.0024266	2.95	0.0028229
2.52	0.0020763	2.74	0.0024440	2.96	0.0028417
2.53	0.0020924	2.75	0.0024614	2.97	0.0028605
2.54	0.0021085	2.76	0.0024789	2.98	0.0028703
2.55	0.0021247	2.77	0.0024965	2.99	0.0028982
2.56	0.0021409	2.78	0.0025141	3.00	0.0029172

35. Will man mit Hilfe dieser Tafel die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in einem Kanale finden, so berechnet man zuerst den Werth von $\frac{AH}{SL}$, sucht diesen oder die nächst anliegende Zahl aus der Tafel, und nimmt aus der nebenstehenden Columme die Geschwindigkeit.

Beispiel.

Eytelwein hat am Brombacher Kanal, der ein rechtwinkliches Profil hierzu erhielt, die Weite $= 1^m,255$, die Tiefe des Wassers $= 0^m,144$ und das Gefälle $= 0^m,0174$ auf $31^m,4$ Länge gefunden; wie groß ist die Geschwindigkeit und wie groß die Wassermenge in diesem Kanal?

Fig. 11.



Hier ist die Fläche des Profils $= 1{,}255 \times 0{,}144 = 0^{mq},1807$, der benetzte Umfang $= 1{,}255 + 2 \times 0{,}144 = 1^{m},543$; damit

$$\frac{A\,H}{S\,L} = \frac{0{,}1807 \times 0{,}0174}{1{,}543 \times 31{,}4} = 0{,}000065.$$

Dafür enthält die Tafel als nächste Zahl 0,0000644 und die mittlere Geschwindigkeit in dem Kanale $= 0^{m},39$.

Die Wassermenge, welche der Kanal in einer Sekunde abführt, ist hiernach

$$= 0{,}1807 \times 0{,}39 = 0^{mc},0705.$$

Eytelwein fand durch unmittelbare Messung die Wassermenge

$$= 0^{mc},0719.$$

Verhältniß zwischen der mittlern und der Geschwindigkeit an der Oberfläche.

36. Kann man den Lauf des Wassers nicht auf eine große Strecke nivelliren, so mißt man die Geschwindigkeit an der Oberfläche im stärksten Strom, und bestimmt daraus die mittlere Geschwindigkeit mit Hilfe folgender Erfahrungen:

Geschwindigkeit an der Oberfläche	m 0,10	m 0,50	m 1,00	m 1,50	m 2,00	m 2,50	m 3,00	m 3,50	m 4,00
Verhältniß der mittlern Geschwindigkeit zu der an der Oberfläche	0,760	0,786	0,812	0,832	0,848	0,862	0,873	0,883	0,891

Ist die Geschwindigkeit an der Oberfläche zwischen $0^{m},20$ und $1^{m},50$ enthalten, so kann man mit hinreichender Genauigkeit als Verhältniß der mittlern Geschwindigkeit zu der an der Oberfläche 0,80 nehmen.

Verfahren, die Geschwindigkeit des Wassers zu messen.

37. Das einfachste und genaueste Mittel, die Geschwindigkeit an der Oberfläche zu messen, besteht in folgendem: man wirft in den Thalweg oder stärksten Strom einen oder mehrere Schwimmer von Eichenholz, die beinahe ganz untertauchen, und beobachtet mit Hilfe einer Sekundenuhr, wie viel Zeit diese brauchen, um einen gegebenen Raum zu durchlaufen, den man an einer regelmäßigen Stelle des Kanals so groß als möglich an-

nimmt. Dividirt man den durchlaufenen Raum durch die Zeit, ſo hat man die Geſchwindigkeit an der Oberfläche. Zu größerer Zuverläßigkeit wiederholt man die Verſuche einigemal.

38. Man gebraucht zur Beſtimmung der mittlern Geſchwindigkeit des Waſſers in einem Kanal oder Bach auch den Woltmann'ſchen Strommeſſer, wobei man zuerſt das Verhältniß der Geſchwindigkeit der Flügel zu der des Waſſers genau beſtimmen muß, was einige Schwierigkeit hat. Man bringt das Inſtrument an verſchiedene Stellen nach der Breite der Strömung und in verſchiedene Tiefen, beobachtet dort die Geſchwindigkeiten, und nimmt endlich für die mittlere Geſchwindigkeit das arithmetiſche Mittel aus allen dieſen Beobachtungen. Die Nothwendigkeit, mehrere Beobachtungen anzuſtellen, erlaubt nicht, dieſes Inſtrument in Kanälen anzuwenden, deren Querſchnitt nicht wenigſtens ein Quadratmeter groß bei $0^m,20$ bis $0^m,30$ Tiefe iſt.

Man muß überdieß darauf Acht haben, nur an Orten zu arbeiten, wo die ganze Maſſe des Waſſers eine bedeutende Geſchwindigkeit hat, und ſich daher von Wehren, Ueberfällen, Stauungen ꝛc. gehörig entfernt halten.

Welches Mittel man nun angewendet hat, um die mittlere Geſchwindigkeit zu erhalten, ſo findet man immer die Waſſermenge, welche der Kanal gibt, nach der Regel in Nr. 33.

Geſchwindigkeit des Waſſers am Boden der Kanäle.

39. Die Geſchwindigkeit des Waſſers am Boden der Kanäle iſt kleiner als die mittlere; es iſt wichtig, daß ſie nicht die Grenze erreiche, bei der das Waſſer das Bett angreift. Man beſtimmt ſie nach der Formel $\mathbf{W = 2\,U - V}$, in welcher

W die Geſchwindigkeit am Boden bedeutet,
U die mittlere Geſchwindigkeit,
V die Geſchwindigkeit an der Oberfläche.

Beiſpiel.

Welches iſt die Geſchwindigkeit des Waſſers am Boden eines Kanals, bei dem die mittlere Geſchwindigkeit $0^m,35$ und die Geſchwindigkeit an der Oberfläche $0^m,45$ iſt.

Die Geſchwindigkeit am Boden $= 2 \times 0{,}35 - 0{,}45 = 0^m,25$.

Grenze, welche die Geschwindigkeit des Wassers am Boden der Kanäle erreichen kann, ohne diese anzugreifen.

40. Beschaffenheit des Bodens. Grenzen der Geschwindigkeit.

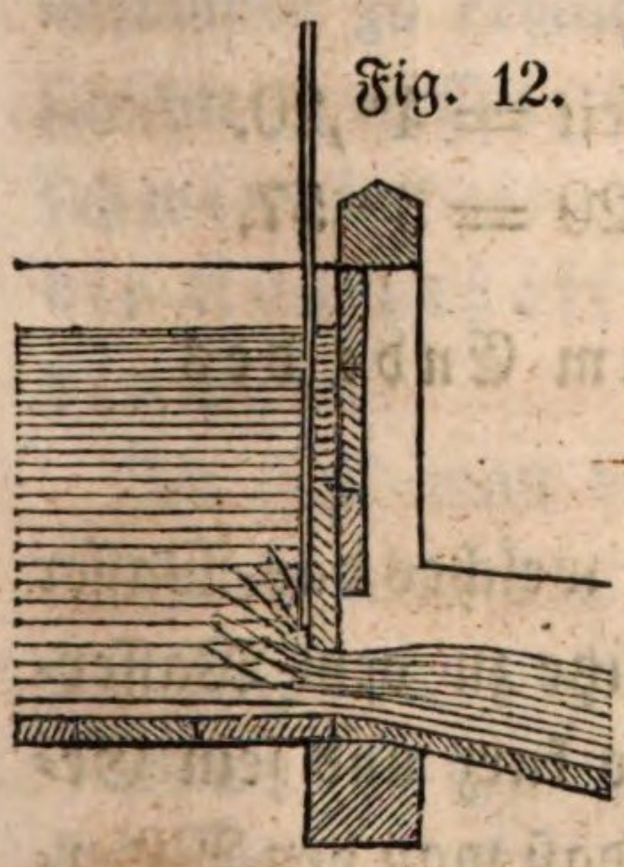
	m
Schlamm	0,076
Thon	0,152
Sand	0,305
Kies	0,609
Abgerundete Kiesel	0,614
Eckige Steine	1,220
Conglomerate, Schiefer	1,520
Geschichtete Felsen	1,830
Ungeschichtete, harte Felsen	3,050

Geschwindigkeit des Wassers in Gerinnen.

Geschwindigkeit des Wassers im Anfange der Gerinne, welche an den Ausflußöffnungen angebracht sind.

41. Wenn schon ein Gerinne, das hinter einer Ausflußöffnung angebracht ist, die Ausflußmenge in den gewöhnlichsten Fällen der Praxis nicht ändert, so vermindert es doch die Geschwindigkeit des Wassers nach seinem Austritte. Der Wasserstrahl breitet sich aus, und seine mittlere Geschwindigkeit wird kleiner. Man berechnet die Geschwindigkeit des Wassers hinter der Ausflußöffnung in einer Entfernung von 2 oder 1½mal ihrer kleinsten Dimension nach der Formel:

Fig. 12.



$$U = \frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{1+\left(\frac{1}{m}-1\right)^2}},$$

wobei

U die gesuchte Geschwindigkeit bedeutet,

H die Druckhöhe über der Mitte der Ausflußöffnung,

$2g = 19^m,62$,

m den Coefficienten der Ausflußmenge für diese Oeffnung.

Beispiel.

Welches ist die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im Anfange eines Gerinnes, das an einer Ausflußöffnung angebracht ist, für welche der Coefficient der Ausflußmenge = 0,64 und die Druckhöhe über der Mitte derselben $1^m,10$ ist?

Man hat $\frac{1}{0,64} = 1,562$, $(1,562-1)^2 = 0,316$, $\sqrt{1+0,316} = 1,147$.

Die Geschwindigkeit, welche der Druckhöhe $1^m,10$ zugehört $= 4^m,65$.

Die gesuchte Geschwindigkeit $= \frac{4,65}{1,147} = 4^m,05$.

Anmerkung. In der Mehrzahl der Anwendungen, wo die Zusammenziehung auf drei Seiten stattfindet und wo die Druckhöhe groß ist, kann man mit hinreichender Genauigkeit folgende einfachere Regel gebrauchen:

$$U = 0,85 \sqrt{2gH} = 3,765 \sqrt{H}$$

Beispiel.

Welches ist die Geschwindigkeit des Wassers im Anfange eines Gerinnes bei einer Ausflußöffnung, für welche der Coefficient der Ausflußöffnung 0,62 und die Druckhöhe über ihrer Mitte $0^m,90$ ist?

Die zur Druckhöhe gehörige Geschwindigkeit $= 4^m,20$.

Die gesuchte Geschwindigkeit $= 0,85 \times 4,20 = 3^m,57$.

Geschwindigkeit des Wassers am Ende des Gerinnes.

42. In den meisten Fällen ist das Gerinne, welches das Wasser von der Schütze zu dem Wasserrade führt, so kurz und sein Gefälle so stark, daß man den Widerstand der Wände desselben gegen die Bewegung vernachlässigen kann.

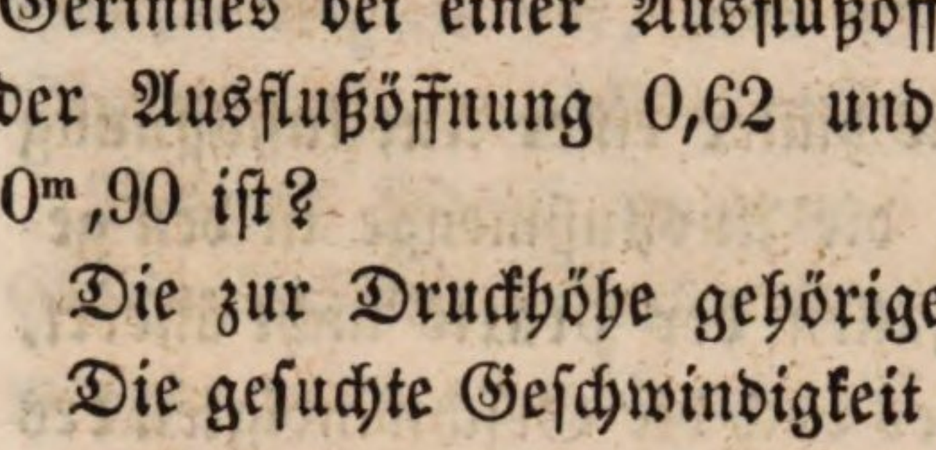


Fig. 13.

Dann hat man, wenn der Gerinnboden die Verlängerung der Sohle der Ausflußöffnung ist, und wenn man nennt

h das ganze Gefälle des Gerinnes von der Sohle der Ausflußöffnung bis zu seinem Ende,

u die Geschwindigkeit am Ende des Gerinnes,
U die mittlere Geschwindigkeit im Anfange des Gerinnes, wie in Nr. 41 berechnet,
H die Höhe zu dieser Geschwindigkeit,

$$u = \sqrt{2g\,(H + h)}.$$

Beispiel.

Wie groß ist die Geschwindigkeit des Wassers am Ende eines Gerinnes von $1^m,30$ Länge und $0^m,25$ Gefälle unter den Umständen der ersten Beispiels in Nr 41?

Die Geschwindigkeit im Anfange des Gerinnes ist (Nr. 41) $= 4^m,05$.
Dazu gehört die Geschwindigkeitshöhe $= 0^m,836$.
Die Summe der Höhen $0^m,836 + 0^m,25 = 1^m,086$.
Die Geschwindigkeit am Ende des Gerinnes

$$4{,}43 \times \sqrt{1{,}086} = 4^m,62.$$

Gerinne von großer Länge.

43. Ist das Gerinne lang, so wird der Einfluß der Wände des Gerinnes merklich, die Geschwindigkeit ändert sich.

Das einfachste Mittel, hier die Geschwindigkeit am Ende des Gerinnes zu erhalten, besteht darin, dort ein Profil der Wasserschichte zu messen: dann hat man die gesuchte mittlere Geschwindigkeit, wenn man die Wassermenge, welche die Ausflußöffnung gibt, durch diesen Querschnitt dividirt.

Im Fall man das Ende des Gerinnes nicht aufdecken kann, bestimmt man die dortige mittlere Geschwindigkeit nach folgender Regel:

Man suche zuerst den Werth der mittlern Geschwindigkeit am Gerinnende nach Nr. 42, nenne diesen u;

Nehme dann das arithmetische Mittel zwischen u und der Geschwindigkeit U beim Gerinnanfange (Nr. 41), und suche dazu die Geschwindigkeitshöhe (Nr. 2 oder 4);

Nun dividire man die Ausflußmenge Q durch dieses arithmetische Mittel $\frac{u + U}{2}$, und man erhält

den mittleren Querschnitt **A** der Wasserschichte im Gerinne, woraus man den benetzten Umfang **S** ableitet;

Nennt man noch **L** die Menge des Gerinns, so hat man

$$U^1 = \sqrt{U^2 + 2gh - 0{,}007 \frac{SL}{A}\left(\frac{U+u}{2}\right)^2}$$

in welcher, außer den vorher gebrauchten Bezeichnungen, U^1 die Geschwindigkeit am Ende des Gerinnes bedeutet.

Beispiel.

Welches ist die Geschwindigkeit an Ende eines Gerinnes von 7^m Länge und $0^m,35$ ganzem Gefälle unter den Umständen des Beispiels in Nr. 41, wenn noch die Weite der Ausflußöffnung 1^m und ihre Höhe $0^m,25$ ist?

Man hat zuerst (Nr. 41) $U = 4^m,05$.

$$u = \sqrt{(4{,}05)^2 + 19{,}62 \times 0{,}35} = \sqrt{23{,}269} = 4^m,823,$$

$$\frac{U+u}{2} = 4^m,436;$$

dann weil der Coefficient der Ausflußmenge $m = 0{,}64$

$$Q = 0{,}64 \times 1 \times 0{,}25 \times \sqrt{19{,}62 \times 1{,}10} = 0^{mc},743,$$

$$\frac{Q}{\frac{U+u}{2}} = A = 0^{mq},167,\ S = 1^m + 2 \times 0^m,167 = 1^m,334,$$

$$0{,}007 \times \frac{S}{A}\ L \left(\frac{U+u}{2}\right)^2 = 7{,}70$$

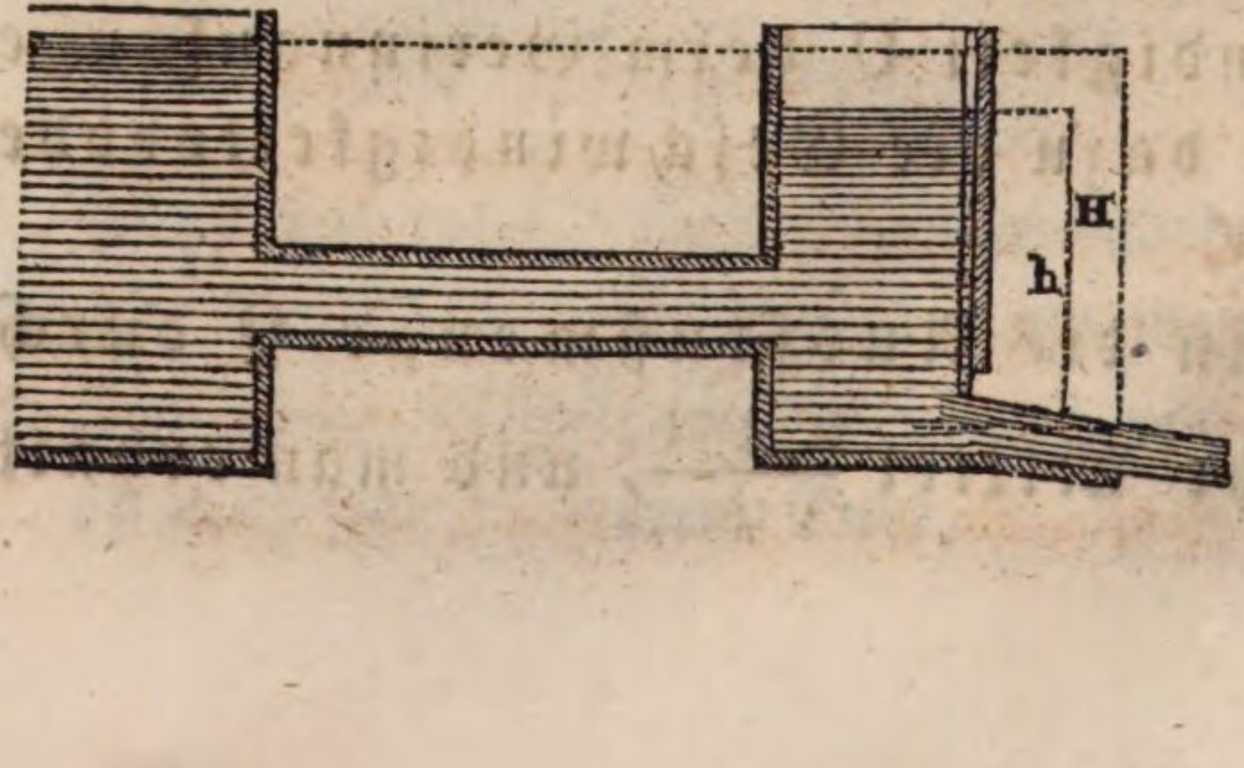
und $U^1 = \sqrt{(4{,}05)^2 + 19{,}62 \times 0{,}35 - 7{,}75} = 3^m,95.$

Sammelkästen.

Gefällverlust bei Sammelkästen.

44. Man gebraucht häufig, um Wasser auf Räder zu führen, Leitröhren, welche, unter oder über dem Boden hingeführt, eine Verbindung zwischen dem Hauptreservoir und einem kleinern Sammelkasten herstellen. Dieser

Fig. 14.



ist unmittelbar am Rad aufgestellt, und gießt sein Wasser auf dieses mittelst einer gewöhnlichen Schütze. Diese Anordnung verursacht immer eine Differenz zwischen dem Niveau des Hauptbehälters und dem Niveau des Sammlers, also einen Gefällverlust, den man nach folgender Formel berechnen kann:

$$H - h = \frac{m'^2 a^2}{A^2}\left[\left(\frac{1}{m} - 1\right)^2 + 1 + 0{,}007\,\frac{S}{A}\,L\right]h$$

worin bedeutet:

H die Höhe des Niveaus im Hauptreservoir über der Mitte der Ausflußöffnung im Sammelkasten,

h dieselbe Höhe im kleinen Behälter,

m den Coefficienten der Ausflußmenge für den Anfang der Leitung,

m¹ den Coefficienten für die Schützöffnung des Sammlers,

a die Größe der Ausflußöffnung des Sammlers,

A den Querschnitt des Wassers in der Leitung,

S den benetzten Umfang in der Leitung,

L die Länge dieser Leitung.

Beispiel.

Das Rad der Sägmühle unterhalb des Arsenals der Artillerie zu Metz erhält das Wasser aus einem solchen Sammler, für den man folgende Daten hat:

$$m' = 0{,}67,\quad m = 0{,}62,\quad a = 0^{mq},0682,\quad A = 0^{mq},25$$
$$L = 7^{m},60,\quad S = 2^{m},\quad h = 1^{m},625.$$

Die vorhergehende Formel gibt

$$H - h = 0^{m},096.$$

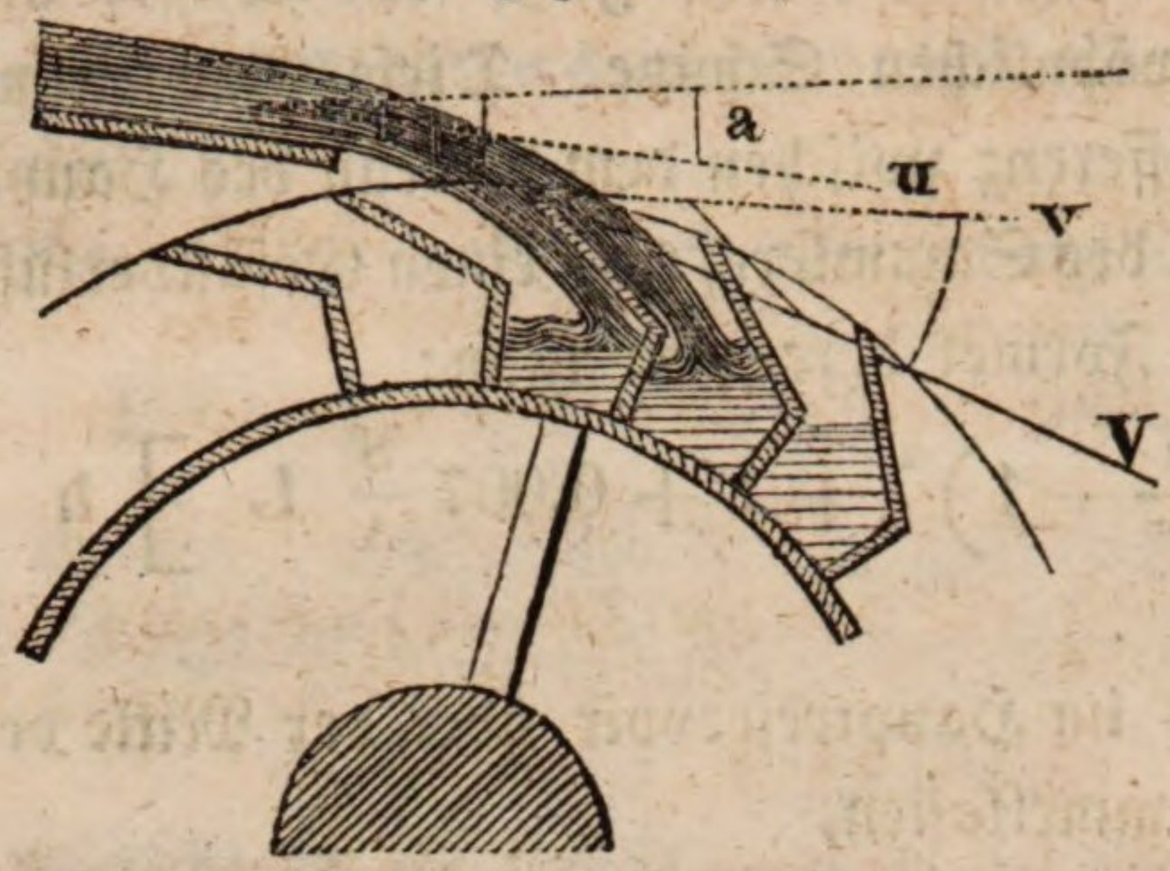
Diese Formel zeigt, daß man den Gebrauch dieser Sammler vermeiden muß, und daß man, wo dieß nicht sein kann, den Querschnitt des Kanals möglichst vergrößern, seine Länge aber vermindern muß.

Geschwindigkeit, mit der das Wasser auf das Rad kommt.

Zeichnung der Kurve, welche der mittlere Wasserfaden nach seinem Austritte aus dem Gerinne bildet.

45. Hat man in einem oder dem andern der Fälle in Nr. 42 und Nr. 43 die Geschwindigkeit des Wassers am Ende des Ge-

Fig. 15.



rinnes bestimmt, so ist es leicht, die Kurve zu zeichnen, welche der mittlere Wasserfaden nach seinem Austritt aus dem Gerinne bildet.

Bezeichnet man mit **u** diese Geschwindigkeit, **a** den Winkel des Gerinnbodens mit der Horizontalebene,

so hat die Kurve des mittlern Wasserfadens die Gleichung

$$y = \frac{g\,x^2}{2\,u^2\cos^2 a} + x \text{ tang } a,$$

worin **x** die horizontalen Abscissen vom Mittel des Gerinnendes und **y** die vertikalen Ordinaten vom selben Punkte bedeuten.

Nimmt man für **x** nach und nach $0^m,1$, $0^m,2$, $0^m,3$ ꝛc. und berechnet die zugehörigen Werthe von **y**, so erhält man Punkte der gesuchten Kurve, die man dann durch eine krumme Linie verbindet.

Ist das Gerinne horizontal, so hat man

$$y = \frac{g\,x^2}{2\,u^2},$$

die Bahn ist eine Parabel, bei der die zu **u** gehörige Geschwindigkeitshöhe der vierte Theil des Parameters ist.

Ist die Ausflußöffnung ein Ueberfall, so erhält man die Geschwindigkeit des mittlern Fadens, wenn man sich erinnert, daß die Dicke der Wasserschichte über der Schütze nur ungefähr 0,80 von der Höhe **H** des Niveaus über diesem Punkte ist. Der mittlere Faden liegt dann etwa in 0,60 dieser Höhe unter dem Niveau, und die Geschwindigkeit desselben ist

$$u = \sqrt{19{,}62 \times 0{,}6\ H}$$

und nahezu horizontal. Er beschreibt eine Parabel von der 0,6 **H**, die Brennweite ist.

Geschwindigkeit, mit der das Wasser auf dem Rade, das unter das Gerinne gestellt ist, ankommt.

46. Im Punkte, in dem die Kurve des mittlern Fadens den

äußern Umfang des Rades trifft, ziehe man eine Tangente an diese Parabel; sie gibt die Richtung der Geschwindigkeit an, mit der das Wasser auf das Rad kommt. Dann addire man zur Geschwindigkeitshöhe von u (Nr. 2 und Tafel in Nr. 4) die Tiefe dieses Ankunftspunktes unter dem Anfange der Kurve. Die Geschwindigkeit, welche zu dieser Summe gehört, ist die Geschwindigkeit V, mit der das Wasser das Rad erreicht.

Beispiel.

Mit welcher Geschwindigkeit gelangt das Wasser auf ein Rad von $3^m,50$ Durchmesser, dessen Axe $0^m,25$ vor der Vertikalen liegt, welche durch das Ende des um $\frac{1}{12}$ geneigten Gerinnes geht? Man setzt voraus, dieses Ende liege $0^m,02$ über dem Rade, und die mittlere Geschwindigkeit der Wasserschichte von $0^m,10$ Dicke am Ende des Gerinnes sei 3^m in 1″.

Wenn das Gerinne $\frac{1}{12}$ geneigt ist, so hat man

$$\text{tang } a = \frac{1}{12} = 0{,}083,\ \cos a = 0{,}995,\ u = 3^m$$

$$y = \frac{9{,}81\ x^2}{2\,(3 \times 0{,}995)^2} + 0{,}083\ x = 0{,}55\ x^2 + 0{,}083\ x;$$

daraus leitet man für die Coordinaten der Kurve ab

$x = 0^m,100,\ 0^m,200,\ 0^m,300,\ 0^m,400,\ 0^m,500,\ 0^m,600$

$y = 0^m,014,\ 0^m,038,\ 0^m,074,\ 0^m,120,\ 0^m,178,\ 0^m,246.$

Der Durchschnitt der so bestimmten Kurve mit dem Radumfang liegt ungefähr $0^m,07$ unter dem mittlern Punkte des Strahls am Ende des Gerinnes; die zur Geschwindigkeit 3^m gehörige Höhe ist $0^m,46$ und die ganze Druckhöhe daher $0^m,07 + 0^m,46 = 0^m,53$, zu welcher die Geschwindigkeit $3^m,23$ gehört, mit der das Wasser das Rad erreicht.

Errichtung von regelmäßigen Kanälen.

47. Die Kanäle vor oder hinter den Wasserwerken sollen so viel möglich regelmäßig seyn, d. h. sie sollen ein konstantes Gefälle, einen konstanten Querschnitt und eine konstante Geschwindigkeit des Wassers haben.

48. Hat man aus Gründen, von der Lokalität und der Oeconomie geboten, die Dimensionen des Kanals bestimmt, so

kennt man den Querschnitt **A** des Profils und den benetzten Umfang **S**. Ist dann **Q** das Volumen Wasser, das der Kanal liefern soll, so erhält man die mittlere Geschwindigkeit **U**, welche das Wasser erhalten muß.

$$U = \frac{Q}{A}$$

Diese Geschwindigkeit darf nicht so groß sein, daß die nach Nr. 39 daraus berechnete Geschwindigkeit am Boden die in Nr. 40 angegebene Grenze für diese Art Boden überschreitet.

Das Gefälle **I** für den laufenden Meter, welches man dem Kanal geben muß, damit das Wasser in ihm diese Geschwindigkeit erhalte, wird gegeben durch die Formel

$$I = \frac{S}{A} U\,(0{,}0000444 + 0{,}000309\,U).$$

Das ganze Gefälle des Kanals wird dann **I L**, das Produkt aus dem so bestimmten Gefälle für einen Meter in die Länge des Kanals.

Beispiel.

Welches ist die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in einem regelmäßigen, gezimmerten Kanal von der Weite $1^m,60$, in dem das Wasser die Tiefe $0^m,80$ hat, und der $0^{mc},800$ in 1″ liefern soll?

Der Querschnitt des Wassers ist $A = 0{,}80 \times 1{,}60 = 1^{mq}28$.

Die mittlere Geschwindigkeit $U = \frac{0{,}800}{1{,}28} = 0^m,625$.

Der benetzte Umfang $S = 2 \times 0{,}80 + 1{,}60 = 3^m,20$.

Welches ist die Neigung für den laufenden Meter?

Man hat

$$I = \frac{3{,}20}{1{,}28} \times 0{,}625\,(0{,}0000444 + 0{,}000309 \times 0{,}625) = 0^m,000373.$$

Hat der Kanal 100 Meter Länge, so ist sein ganzes Gefälle

$$H = I\,L = 0^m,0373.$$

Die Dimensionen des Kanals sind nicht gegeben.

49. Man beginnt damit die größte mittlere Geschwindigkeit zu berechnen, welche die Art des Bodens gestattet. Dieß geschieht nach der Formel

$$U = 1{,}33\,W,$$

wo **W** die aus Nr. 40 zu nehmende größte zulässige Geschwindigkeit am Boden ist.

50. Diese größte Geschwindigkeit nimmt man aber, so oft man an Gefäll so viel als möglich erhalten muß, keineswegs; man nimmt vielmehr, wenn das Wasser an ruhigen Orten nur leichten Schlamm absetzt

$$U = 0^m,20;$$

wenn aber das Wasser Sand führt, und man den Kanal vor dem Absetzen dieses Sandes schützen muß

$$U = 0^m,406.$$

51. Mit Hilfe der so bestimmten Geschwindigkeit **U**, und dem Wasserquantum **Q**, das der Kanal abführen soll, erhält man den Querschnitt

$$A = \frac{Q}{U}$$

Soll z. B. ein Kanal angelegt werden, der in einer Sekunde $0^{mc},500$ sandführendes Wasser ableiten soll, so hat man

$$A = \frac{0,500}{0,406} = 1^{mq},231.$$

52. Kanäle von Holz oder Mauerwerk erhalten vertikale Wände, und zur Verminderung der Widerstände zur Tiefe des Wassers die halbe Breite.

Ist **h** die Tiefe des Wassers

b die Breite des Kanals, so ist

$$h = \sqrt{\frac{A}{2}} \text{ und } b = 2h.$$

Für den Kanal der vorhergehenden Nummer wird also

$$\text{die Tiefe des Wassers} = \sqrt{\frac{1,231}{2}} = 0^m,784,$$

$$\text{und die Breite des Kanals} = 2.\ 0,784 = 1^m,568.$$

Bei gegrabenen Kanälen beträgt die Weite am Boden gewöhnlich das 4-, 5- oder 6fache der Tiefe, und die Wände erhalten eine Böschung.

Für sie hat man

$$b = 4h;\ h = \sqrt{\frac{A}{4+n}};$$

$$b = 5h;\ h = \sqrt{\frac{A}{5+n}};$$

$$b = 6\,h,\ h = \sqrt{\frac{A}{6+n}};$$

wobei n das Verhältniß der Baſis der Böſchung zur Höhe iſt.

Beiſpiel.

Welche Höhe muß das Waſſer in dem Kanale Nr. 51 erhalten, wenn die Breite 4mal ſo groß als dieſe Höhe ſein ſoll, und die Böſchung 45° beträgt?

Er iſt $A = 1^{mq},231$, $n = 1$, alſo

$$b = 4\,h;\ h = \sqrt{\frac{1,231}{4+1}} = 0^{m},496 \text{ und}$$

$$b = 4 \times 0^{m},496 = 1^{m},984.$$

53. Für Kanäle mit Trockenmauerung nimmt man $n = 0,50$; bei freier Erde $n = 1$ und bei Sand und leichter Erde $n = 2$.

54. Der benetzte Umfang **S** ergibt ſich aus den Formeln:

$S = b + 2\,h$ für Kanäle mit vertikalen Wänden.

$S = b + 2,23\,h$ für die Böſchung 1 Grundlinie auf 2 Höhe oder $n = 1/2$.

$S = b + 2,83\,h$ für die Böſchung 1 Grundlinie auf 1 Höhe oder $n = 1$.

$S = b + 4,47\,h$ für die Böſchung 2 Grundlinie auf 1 Höhe oder $n = 2$.

In dem Beiſpiele der Nr. 52 iſt hiernach der benetzte Umfang

$$S = 1^{m},984 + 2,83.\ 0^{m},496 = 3^{m},383.$$

55. Iſt die Breite des Kanals oder die Tiefe des Waſſers in demſelben von vornherein beſtimmt, ſo berechnet man die andere Dimenſion aus dem bekannten Querſchnitte.

56. Das Gefälle, das man dem Kanal geben muß, damit das Waſſer mit der in Nr. 50 beſtimmten Geſchwindigkeit abfließt, wird endlich nach der Formel

$$I = \frac{S}{A}\,U\,(0,0000444 + 0,000\,309\,U)$$

beſtimmt, in der **I** das Gefälle auf den laufenden Meter bedeutet.

Für das Beiſpiel der Nr. 52 und 54 erhält man hiernach

$$I = \frac{3,383}{1,231} \times 0,406\,(0,0000444 + 0,000309 \times 0,406) = 0^{m},000189,$$

und alſo das ganze Gefäll auf eine Länge von 1200^{m} gleich

$$1200 \times 0^{m},000189 = 0^{m},227.$$

Bestimmung der Dimensionen des Kanals, wenn das Gefälle gegeben ist.

57. Ist das Gefälle des Kanals gegeben, so berechnet man die mittlere Geschwindigkeit, welche das Wasser annehmen kann, ohne die Ufer anzugreifen, nach der Regel in Nr. 49. Nennt man nun

h die Tiefe des Kanals,
b die Breite am Boden,
n das Verhältniß der Basis der Böschung zu ihrer Höhe,

so hat man die Breite am Boden durch die Formel

$$b = \frac{Q\,I}{U^2\,(0{,}0000{,}444 + 0{,}000309\,U)} - 2\,h\,\sqrt{1+n^2}$$

Die Oertlichkeiten begrenzen oft die Tiefe, welche man dem Kanal geben kann, wodurch h bestimmt ist, und dann gibt diese Formel die Breite.

Ist die Tiefe des Kanals nicht a priori bestimmt, so nimmt man die Breite gleich der vier- bis sechsfachen Tiefe und aus der Formel erhält man dann die Tiefe.

Für Kanäle von Holz oder Mauerwerk hat man gewöhnlich $n = 0$, und dann gibt die Formel

$$b + 2\,h = \frac{Q\,I}{U^2\,(0{,}0000444 + 0{,}000309\,U)}$$

Für Kanäle mit trockener Seitenmauerung hat man gewöhnlich $n = 0{,}50$, und dann ist

$$b + 2{,}23\,h = \frac{Q\,I}{U^2\,(0{,}0000444 + 0{,}000309\,U)}$$

Für gegrabene Kanäle ohne besondere Bekleidung ist $n = 1$, und die Formel ist

$$b + 2{,}83\,h = \frac{Q\,I}{U^2\,(0{,}0000444 + 0{,}000309\,U)}$$

Für Kanäle in Sand und lockerer Erde nimmt man $n = 2$ und

$$b + 4{,}47\,h = \frac{Q\,I}{U^2\,(0{,}0000444 + 0{,}000309\,U)}$$

Bemerkung hinsichtlich der Pflanzen, welche in den Kanälen wachsen.

58. Um die Kanäle gleich ergiebig zu erhalten, muß man häufig die Pflanzen, welche in ihnen wachsen, abschneiden, indem diese durch ihre Oberfläche die Widerstände der Bewegung des Wassers sehr vermehren.

Wasserleitungsröhren.

Bestimmung der Wassermenge einer cylindrischen Wasserleitung.

59. Solche Röhren müssen durchaus gleichweit, ohne Verengerungen im Innern seyn. Man muß Biegungen möglichst vermeiden oder ihnen doch einen großen Krümmungshalbmesser geben. Hat man das letzte befolgt, so kann man den geringen Einfluß dieser Biegungen vernachlässigen.

Wir geben weiter unten die Mittel, den Einfluß solcher Biegungen zu berechnen, wo dieses nothwendig ist.

Ist das Wasser in einer solchen Wasserleitungsröhre in den Beharrungszustand gekommen, so daß das Niveau im obern und im untern Behälter constant bleiben, so erhält man die mittlere Geschwindigkeit des Wassers durch folgende Formel, welche de Prony aus den Versuchen von Couplet, Dubuat und von Bossut abgeleitet hat.

$$U = 26{,}79 \sqrt{DI} - 0{,}025,$$

in welcher

U die gesuchte mittlere Geschwindigkeit,

D den Durchmesser der Leitung,

I das Gefäll auf den laufenden Meter bedeutet. Dieses wird gefunden, wenn man die Niveaudifferenz in beiden Behältern, welche durch die Leitung in Verbindung gebracht sind, durch die ganze Länge der Leitung dividirt.

Kennt man aus dieser Formel die mittlere Geschwindigkeit U, so erhält man die Wassermenge

$$Q = 0{,}785\ D^2\ U.$$

60. Zur Erleichterung der Rechnung hat de Prony folgende Tafel gegeben:

Tafel der Geschwindigkeit des Wassers in Röhrenleitungen.

Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{1}{4}$ DI	Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{1}{4}$ DI	Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{1}{4}$ DI
m		m		m	
0.01	0.0000002	0.40	0.0000627	0.79	0.0002310
0.02	0.0000005	0.41	0.0000656	0.80	0.0002368
0.03	0.0000008	0.42	0.0000687	0.81	0.0002425
0.04	0.0000013	0.43	0.0000718	0.82	0.0002484
0.05	0.0000017	0.44	0.0000750	0.83	0.0002543
0.06	0.0000023	0.45	0.0000783	0.84	0.0002603
0.07	0.0000029	0.46	0.0000817	0.85	0.0002663
0.08	0.0000036	0.47	0.0000851	0.86	0.0002725
0.09	0.0000044	0.48	0.0000886	0.87	0.0002787
0.10	0.0000052	0.49	0.0000921	0.88	0.0002849
0.11	0.0000061	0.50	0.0000957	0.89	0.0002913
0.12	0.0000071	0.51	0.0000994	0.90	0.0002977
0.13	0.0000081	0.52	0.0001032	0.91	0.0003042
0.14	0.0000093	0.53	0.0001070	0.92	0.0003107
0.15	0.0000104	0.54	0.0001109	0.93	0.0003173
0.16	0.0000117	0.55	0.0001149	0.94	0.0003240
0.17	0.0000130	0.56	0.0001189	0.95	0.0003308
0.18	0.0000144	0.57	0.0001230	0.96	0.0003376
0.19	0.0000159	0.58	0.0001272	0.97	0.0003445
0.20	0.0000174	0.59	0.0001315	0.98	0.0003515
0.21	0.0000190	0.60	0.0001358	0.99	0.0003585
0.22	0.0000207	0.61	0 0001402	1.00	0.0003656
0.23	0.0000224	0.62	0.0001446	1.01	0.0003728
0.24	0.0000242	0.63	0.0001491	1.02	0.0003800
0.25	0.0000261	0.64	0.0001537	1.03	0.0003873
0.26	0.0000280	0.65	0.0001584	1.04	0.0003947
0.27	0.0000301	0.66	0.0001631	1.05	0.0004022
0.28	0.0000322	0.67	0.0001679	1.06	0.0004097
0.29	0.0000343	0.68	0.0001728	1.07	0.0004173
0.30	0.0000365	0.69	0.0001778	1.08	0.0004249
0.31	0.0000388	0.70	0.0001828	1.09	0.0004327
0.32	0.0000412	0.71	0.0001879	1.10	0.0004405
0.33	0.0000436	0.72	0.0001930	1.11	0.0004483
0.34	0.0000462	0.73	0.0001982	1.12	0.0004563
0.35	0.0000487	0.74	0.0002035	1.13	0.0004643
0.36	0.0000514	0.75	0.0002089	1.14	0.0004724
0.37	0.0000541	0.76	0.0002143	1.15	0.0004805
0.38	0.0000569	0.77	0.0002198	1.16	0.0004887
0 39	0.0000597	0.78	0.0002254	1.17	0.0004970

Tafel der Geschwindigkeit des Wassers in Röhrenleitungen.

Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{1}{4}$ DI	Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{1}{4}$ DI	Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{1}{4}$ DI
m		m		m	
1.18	0.0005054	1.57	0.0008856	1.96	0.0013718
1.19	0.0005138	1.58	0.0008968	1.97	0.0013857
1.20	0.0005223	1.59	0.0009080	1.98	0.0013996
1.21	0.0005309	1.60	0.0009193	1.99	0.0014136
1.22	0.0005395	1.61	0.0009306	2.00	0.0014277
1.23	0.0005482	1.62	0.0009420	2.01	0.0014418
1.24	0.0005570	1.63	0.0009535	2.02	0.0014560
1.25	0.0005658	1.64	0.0009651	2.03	0.0014703
1.26	0.0005747	1.65	0.0009767	2.04	0.0014847
1.27	0.0005837	1.66	0.0009884	2.05	0.0014991
1.28	0.0005928	1.67	0.0010002	2.06	0.0015136
1.29	0.0006019	1.68	0.0010120	2.07	0.0015281
1.30	0.0006111	1.69	0.0010240	2.08	0.0015428
1.31	0.0006204	1.70	0.0010359	2.09	0.0015575
1.32	0.0006297	1.71	0.0010480	2.10	0.0015722
1.33	0.0006391	1.72	0.0010601	2.11	0.0015871
1.34	0.0006486	1.73	0.0010723	2.12	0.0016020
1.35	0.0006581	1.74	0.0010845	2.13	0.0016169
1.36	0.0006677	1.75	0.0010969	2.14	0.0016320
1.37	0.0006774	1.76	0.0011093	2.15	0.0016471
1.38	0.0006871	1.77	0.0011217	2.16	0.0016623
1.39	0.0006970	1.78	0.0011343	2.17	0.0016775
1.40	0.0007069	1.79	0.0011469	2.18	0.0016928
1.41	0.0007168	1.80	0.0011596	2.19	0.0017082
1.42	0.0007268	1.81	0.0011723	2.20	0.0017237
1.43	0.0007369	1.82	0.0011851	2.21	0.0017392
1.44	0.0007471	1.83	0.0011980	2.22	0.0017548
1.45	0.0007573	1.84	0.0012110	2.23	0.0017705
1.46	0.0007677	1.85	0.0012240	2.24	0.0017862
1.47	0.0007780	1.86	0.0012371	2.25	0.0018021
1.48	0.0007885	1.87	0.0012502	2.26	0.0018179
1.49	0.0007990	1.88	0.0012635	2.27	0.0018339
1.50	0.0008096	1.89	0.0012768	2.28	0.0018499
1.51	0.0008202	1.90	0.0012901	2.29	0.0018660
1.52	0.0008310	1.91	0.0013036	2.30	0.0018822
1.53	0.0008418	1.92	0.0013171	2.31	0.0018984
1.54	0.0008526	1.93	0.0013307	2.32	0.0019147
1.55	0.0008636	1.94	0.0013443	2.33	0.0019310
1.56	0.0008746	1.95	0.0013581	2.34	0.0019475

Tafel der Geschwindigkeit des Wassers in Röhrenleitungen.

Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{1}{4}$ DI	Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{1}{4}$ DI	Mittlere Geschwindigkeit.	Werth von $\frac{1}{4}$ DI
m		m		m	
2.35	0.0019640	2.57	0.0023448	2.79	0.0027592
2.36	0.0019806	2.58	0.0023629	2.80	0.0027789
2.37	0.0019972	2.59	0.0023810	2.81	0.0027986
2.38	0.0020139	2.60	0.0023993	2.82	0.0028184
2.39	0.0020307	2.61	0.0024176	2.83	0.0028382
2.40	0.0020476	2.62	0.0024360	2.84	0.0028581
2.41	0.0020645	2.63	0.0024545	2.85	0.0028781
2.42	0.0020815	2.64	0.0024730	2.86	0.0028982
2.43	0.0020985	2.65	0.0024916	2.87	0.0029183
2.44	0.0021157	2.66	0.0025102	2.88	0.0029385
2.45	0.0021329	2.67	0.0025290	2.89	0.0029588
2.46	0.0021502	2.68	0.0025478	2.90	0.0029791
2.47	0.0021675	2.69	0.0025667	2.91	0.0029995
2.48	0.0021849	2.70	0.0025856	2.92	0.0030200
2.49	0.0022024	2.71	0.0026046	2 93	0.0030405
2.50	0.0022199	2.72	0.0026237	2.94	0.0030612
2.51	0.0022376	2.73	0.0026429	2.95	0.0030819
2.52	0.0022553	2.74	0.0026621	2.96	0.0031026
2.53	0.0022730	2.75	0.0026814	2.97	0.0031234
2.54	0.0022908	2.76	0.0027007	2.98	0.0031443
2.55	0.0023087	2.77	0.0027202	2.99	0.0031653
2.56	0.0023267	2.78	0.0027397	3.00	0.0031863

Gebrauch dieser Tafel.

61. Man berechnet $^1/_4$ **D I**, sucht die gefundene Zahl oder die nächste in der Tafel, und nimmt aus der Columne links die gesuchte Geschwindigkeit.

Welches ist die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in einer Röhrenleitung von $0^m,25$ Durchmesser, deren ganzes Gefälle $11^m,366$ bei einer Länge von 3000^m beträgt?

Man hat

$$\mathbf{D} = 0{,}25\,;\ \mathbf{I} = \frac{11{,}366}{3000} = 0{,}003789\,,\ \text{also}$$

$$\tfrac{1}{4}\,\mathbf{D\,I} = \tfrac{1}{4} \times 0{,}25 \times 0{,}003789 = 0{,}0002368$$

und dabei unmittelbar in der Tafel die Geschwindigkeit $0^m,80$.

Die Wassermenge, welche diese Leitung in 1 gibt, ist

$$Q = 0{,}785 \times (0{,}25)^2 \times 0{,}80 = 0^{mc},0393.$$

Anordnung einer Leitung für ein gegebenes Wasserquantum.

62. Man kennt das ganze Gefälle und die Länge der Leitung, daraus findet man das Gefälle I für den laufenden Meter, und hat dann zur Bestimmung des Durchmessers D die Gleichung

$$Q = 21{,}045 \sqrt{D^5 I} - 0{,}0196\, D^2,$$

welche man nur durch Näherung auflösen kann.

63. Um den Werth von D aus dieser Gleichung zu erhalten, vernachlässigt man zuerst das zweite Glied links, wodurch man findet

$$D = 0{,}2956 \sqrt[5]{\frac{Q^2}{I}}$$

Beispiel.

Welchen Durchmesser muß man einer Röhrenleitung geben, welche bei einem Gefälle von $36^m,77$ und einer Länge von 1000^m in einer Sekunde $0^{mc},02666$ Wasser geben soll?

Die Näherungsformel gibt

$$D = 0{,}2956 \times \sqrt[5]{\frac{(0{,}02666)^2}{0{,}03677}} = 0^m,13426.$$

64. Dieser Werth von D kann immer als hinreichend richtig angenommen werden, wenn die Geschwindigkeit U, welche man aus der Formel

$$U = \frac{1{,}273\ Q}{D^2}$$

findet, gleich oder größer als $0^m,50$ ist.

Für unser Beispiel wird U viel größer, und man wird also den oben gefundenen Durchmesser beibehalten.

65. Ist U kleiner als $0^m,50$, so muß man zu genauerer Bestimmung des Durchmessers schreiten. Zu dem Ende substituirt man den gefundenen Werth von D in den Ausdruck

$$Q - 21{,}045 \sqrt{D^5 I} + 0{,}0196\, D^2, \quad . \quad . \quad (a)$$

Diesen Werth bezeichne man mit Z.

Dann nehme man einen etwas größern Werth als das frühere D, den ich mit D' bezeichnen will, und substituire auch diesen in den Ausdruck (a); er werde Z', dann hat man

$$d = \frac{Z\,(D - D')}{Z - Z'}$$

und den verbesserten Durchmesser der Röhrenleitung gleich $D - d$.

Beispiel.

Welchen Durchmesser muß man einer Röhrenleitung geben, welche in jeder Sekunde $0^{mc},02666$ Wasser bei einem Gefälle von $0^{m},0001937$ auf den laufenden Meter geben soll?

Die Näherungsformel gibt

$$D = 0{,}2956 \sqrt[5]{\frac{(0{,}02666)^2}{0{,}0001937}} = 0^{m},3834.$$

Substituirt man diesen Werth oder der kürzern Rechnung wegen 0,39 in den Ausdruck (a), so erhält man $Z = 0{,}00182$.

Nimmt man nun $D' = 0{,}40$, und berechnet damit wieder den Ausdruck (a), so erhält man $Z' = 0{,}00016$.

Damit wird

$$d = \frac{0{,}00182\ (-\ 0{,}01)}{0{,}00166} = -\ 0{,}0109.$$

und der verbesserte Durchmmesser

$$0^{m},39 - (-\ 0^{m},0109) = 0^{m},4009.$$

Zuweilen wird man mit dem neuen Werthe des Durchmessers dieselbe Rechnung wiederholen müssen.

Bemerkung.

66. In den vorhergehenden Formeln ist **H** die Niveaudifferenz in den Behältern an beiden Enden der Röhrenleitung, oder, wo das Wasser frei ausfließt, die Höhe des Niveaus im Reservoir über der Mitte der Ausflußöffnung. Es ist also **H** in allen Fällen die Pressung, welche erforderlich ist, um die Widerstände der Bewegung zu überwinden.

Anordnung von Leitungen zur Vertheilung des Wassers in Städten.

67. Für die Vertheilung des Wassers in Städten nimmt man eine Reihe von Durchmessern der Röhren an, um nicht die Zahl der Modelle zu sehr zu vergrößern, und um die erste Einrichtung wie die Auswechslung der einzelnen Röhren zu erleichtern.

Die Geschwindigkeit soll nicht unter $0^{m},005$ betragen bei kleinen Leitungen und unter $0^{m},100$ bei großen, und sie soll nicht über 3^{m} in allen gewöhnlichen Fällen betragen.

Nach diesen Betrachtungen ist folgende Tafel berechnet:

Tafel

über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,05		0m,06	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
0.01	0.0051	0.000008	0.0035	0.000004
0.02	0.0102	0.000017	0.0071	0.000009
0 03	0.0153	0.000028	0.0106	0.000015
0.04	0.0204	0.000040	0.0141	0.000021
0.05	0.0255	0.000053	0.0177	0.000028
0.06	0.0300	0.000068	0.0212	0.000035
0.07	0.0356	0.000085	0.0248	0.000043
0.08	0.0407	0.000103	0.0283	0.000051
0.09	0.0458	0.000122	0.0318	0.000060
0.1	0.0509	0.000143	0.0354	0.000070
0.2	0.1019	0.000430	0.0707	0.000198
0.3	0.1528	6.000862	0.1061	0.000384
0.4	0.2037	0.001439	0.1415	0.000628
0.5	0.2546	0.002160	0.1768	0.000930
0.6	0.3056	0.003025	0.2122	0.001290
0.7	0.3565	0.004035	0.2475	0.001709
0.8	0.4074	0.005190	0.2829	0.002186
0.9	0.4584	0.006489	0.3183	0.002720
1.0	0.5093	0.007933	0.3537	0.003313
1.1	0.5602	0.009521	0.3890	0.003964
1.2	0.6112	0.011254	0.4244	0.004672

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,05		0m,06	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
1.3	0 6621	0.013131	0.4598	0.005439
1.4	0.7130	0.015153	0.4951	0.006264
1.5	0.7639	0.017319	0.5305	0.007147
1.6	0.8149	0.019630	0.5659	0.008088
1.7	0.8658	0.022085	0.6012	0.009088
1.8	0.9167	0.024685	0.6367	0.010145
1.9	0.9677	0.027430	0.6720	0.011260
2.0	1.0186	0.030318	0.7073	0.012434
2.1	1.0695	0.033352	0.7427	0.013666
2.2	1.1204	0.036530	0.7781	0.014955
2.3	1.1714	0.039853	0.8135	0.016303
2.4	1.2223	0.043320	0.8488	0.017709
2.5	1.2732	0.046931	0.8842	0.019173
2.6	1.3242	0.050687	0.9196	0.020695
2.7	1.3751	0.054588	0.9549	0.022275
2.8	1.4260	0.058633	0.9903	0.023913
2.9	1.4770	0.062823	1.0257	0.025609
3.0	1.5279	0.067158	1.0610	0.027364
3.1	1.5788	0.071637	1.0964	0.029176
3.2	1.6297	0.076260	1.1318	0.031047
3 3	1.6807	0.081028	1.1671	0.032975
3.4	1.7316	0.085940	1.2025	0.034962
3.5	1.7825	0.090997	1.2379	0.037007
3.6	1.8335	0.096199	1.2732	0.039109
3.7	1.8844	0.101545	1.3086	0.041270
3.8	1.9353	0.107035	1.3440	0.043489
3.9	1.9863	0.112670	1.3793	0.045766
4.0	2.0372	0.118450	1.4147	0.048101
4.1	2.0881	0.124374	1.4501	0.050495

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	$0^m,05$		$0^m,06$	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
4.2	2.1390	0.130443	1.4854	0 052946
4.3	2.1900	0.136656	1.5208	0.055455
4.4	2.2409	0.143013	1.5562	0.058023
4.5	2.2918	0.149516	1.5916	0.060648
4.6	2.3428	0.156162	1.6269	0.063332
4.7	2.3937	0.162954	1.6623	0.066074
4.8	2.4446	0.169890	1.6977	0.068874
4.9	2.4955	0.176970	1.7330	0.071732
5.0	2.5465	0.184195	1.7684	0.074648
5.2	2.6483	0.199078	1.8391	0.080654
5.4	2.7502	0.214540	1.9099	0.086893
5.6	2.8520	0.230579	1.9806	0.093363
5.8	2.9539	0.247197	2.0513	0.100067
6.0	3.0558	0.264393	2.1221	0.107002
6.2	"	"	2.1928	0.114170
6.4	"	"	2.2635	0.121571
6.6	"	"	2.3343	0.129203
6.8	"	"	2.4050	0.137068
7.0	"	"	2.4757	0.145165
7.2	"	"	2.5465	0.153495
7.4	"	"	2.6172	0.162057
7.6	"	"	2.6879	0.170851
7.8	"	"	2.7587	0.179878
8.0	"	"	2.8294	0.189137
8.2	"	"	2.9001	0.198628
8.4	"	"	2.9709	0.208352
8.6	"	"	2.0416	0.218308

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,08		0m,10	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
0.1	0.0199	0.000024	0.0127	0.000011
0.2	0.0398	0.000062	0.0255	0.000027
0.3	0.0597	0.000114	0.0382	0.000047
0.4	0.0796	0.000179	0.0509	0.000071
0.5	0.0995	0.000258	0.0637	0.000101
0.6	0.1194	0.000352	0.0764	0.000134
0.7	0.1393	0.000458	0.0891	0.000172
0.8	0.1592	0.000579	0.1019	0.000215
0.9	0.1790	0.000713	0.1146	0.000262
1.0	0.1989	0.000862	0 1273	0.000314
1.1	0.2188	0.001024	0.1401	0.000370
1.2	0.2387	0.001199	0.1528	0.000431
1.3	0.2586	0.001389	0.1655	0.000496
1.4	0.2785	0.001592	0.1783	0.000566
1.5	0.2984	0.001809	0.1910	0.000641
1.6	0.3183	0.002040	0.2037	0.000719
1.7	0.3382	0.002285	0.2164	0.000803
1.8	0.3581	0.002543	0.2292	0.000891
1.9	0.3780	0.002815	0 2419	0.000983
2.0	0.3979	0.003101	0.2546	0.001080
2.1	0.4178	0.003401	0.2674	0.001181
2.2	0.4377	0.003715	0.2801	0.001287
2.3	0.4576	0.004042	0.2928	0.001398
2.4	0.4775	0.004383	0.3056	0.001513
2.5	0.4974	0.004738	0.3183	0.001632
2.6	0.5173	0.005107	0.3310	0.001756
2.7	0.5371	0.005490	0.3438	0.001885
2.8	0.5570	0.005886	0.3565	0.002018
2.9	0.5769	0.006296	0.3692	0.002155
3.0	0.5968	0.006720	9.3820	0.002297

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	$0^m,08$		$0^m,10$	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
3.1	0.6167	0.007157	0.3947	0.002444
3.2	0.6366	0.007609	0.4074	0.002595
3.3	0.6565	0.008074	0.4202	0.002750
3.4	0.6764	0.008553	0.4329	0.002911
3.5	0.6963	0.009046	0.4456	0.003075
3.6	0.7162	0.009552	0.4584	0.003244
3.7	0.7361	0.010073	0.4711	0.003418
3.8	0.7560	0.010607	0.4838	0.003596
3.9	0.7759	0.011155	0.4966	0.003779
4.0	0.7958	0.011716	0.5093	0.003966
4.1	0.8157	0.012292	0.5220	0.004158
4.2	0.8356	0.012881	0.5348	0.004354
4.3	0.8555	0.013484	0.5475	0.004555
4.4	0.8754	0.014101	0.5602	0.004760
4.5	0.8952	0.014732	0.5730	0 004970
4.6	0.9151	0.015376	0.5857	0.005184
4.7	0.9350	0.016034	0.5984	0.005403
4.8	0.9549	0.016706	0.6112	0.005627
4.9	0.9748	0.017392	0.6239	0.005855
5.0	0.9947	0.018091	0.6366	0.006087
5.2	1.0345	0.019532	0.6621	0.006565
5.4	1.0743	0.021027	0.6875	0.007062
5.6	1.1141	0.022578	0.7130	0.007576
5.8	1.1539	0.024184	0.7385	0.008109
6.0	1.1937	0.025845	0.7639	0.008660
6.2	1.2334	0.027561	0 7894	0.009228
6.4	1.2732	0.029332	0.8149	0.009815
6.6	1.3130	0.031158	0.8403	0.010420
6.8	1.3528	0.033040	0.8658	0.011043
7.0	1.3926	0.034976	0.8913	0.011684

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser. 0m,08		0m,10	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
7.2	1.4324	0.036968	0.9167	0 012343
7.4	1.4722	0.039015	0.9422	0.013020
7.6	1.5120	0.041117	0.9677	0.013715
7.8	1.5518	0.043274	0.9931	0.014428
8.0	1.5916	0.045486	1.0186	0.015160
8.2	1.6313	0.047753	1.0440	0.015909
8.4	1.6711	0.050076	1.0695	0.016676
8.6	1.7109	0.052454	1.0950	0.017462
8.8	1.7507	0.054887	1.1204	0.018265
9.0	1.7905	0.057375	1.1459	0.019087
9.2	1.8303	0.059918	1.1714	0.019926
9.4	1.8701	0.062516	1.1968	0.020784
9.6	1.9099	0.065169	1.2223	0.021660
9.8	1.9497	0.067878	1.2478	0.022554
10.0	1.9894	0.070642	1.2732	0.023466
11.0	2.1884	0.085287	1.4006	0.028296
12	2.3873	0.101310	1.5279	0.033579
13	2.5863	0.118712	1.6552	0.039313
14	2.7852	0.137492	1.7825	0.045499
15	2.9842	0 157650	1.9098	0.052136
16	"	"	2.0372	0.059225
17	"	"	2.1645	0.066766
18	"	"	2.2918	0.074758
19	"	"	2.4192	0 083202
20	"	"	2.5465	0.092098
21	"	"	2.6738	0.101445
22	"	"	2.8011	0.111244
23	"	"	2.9284	0 121495

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	$0^m,15$		$0^m,20$	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
1.8	0.1019	0.000143	"	"
1.9	0.1075	0.000157	"	"
2.0	0.1132	0.000171	"	"
2.1	0.1188	0.000186	"	"
2.2	0.1245	0.000201	"	"
2.3	0.1302	0 000217	"	"
2.4	0.1358	0.000234	"	"
2.5	0.1414	0.000251	"	"
2.6	0.1471	0.000269	"	"
2.7	0.1528	0.000287	"	"
2.8	0.1584	0.000306	"	"
2.9	0.1641	0.000326	"	"
3.0	0.1698	0.000346	"	"
3.1	0.1754	0.000367	"	"
3.2	0.1811	0.000388	0.1019	0.000108
3.3	0.1867	0.000410	0.1050	0.000113
3.4	0.1924	0 000433	0.1082	0.000119
3.5	0.1981	0.000456	0.1114	0.000125
3.6	0.2037	0.000480	0.1146	0.000131
3.7	0.2094	0.000504	0.1178	0.000137
3.8	0.2150	0.000529	0.1210	0.000144
3.9	0.2207	0.000554	0.1241	0.000150
4.0	0.2264	0.000580	0.1273	0.000157
4.1	0.2320	0.000607	0.1305	0.000164
4.2	0.2377	0.000634	0.1337	0.000171
4.3	0.2433	0.000662	0.1369	0.000178
4.4	0.2490	0.000691	0.1401	0.000185
4.5	0.2546	0.000720	0.1432	0.000193
4.6	0.2603	0.000750	0.1464	0.000200

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,15		0m,20	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
4.7	0.2660	0.000780	0.1496	0.000208
4.8	0.2716	0.000811	0.1528	0.000216
4.9	0.2773	0.000842	0.1560	0.000224
5.0	0.2829	0.000874	0.1592	0.000232
5.2	0.2943	0.000940	0.1655	0.000248
5.4	0.3056	0.001008	0.1719	0.000265
5.6	0.3169	0.001079	0.1783	0.000283
5.8	0.3282	0.001152	0.1846	0.000301
6.0	0.3395	0.001228	0.1910	0.000320
6.2	0.3508	0.001305	0.1974	0.000340
6.4	0 3622	0.001385	0.2037	0.000360
6.6	0.3735	0.001468	0.2100	0.000380
6.8	0.3848	0.001553	0.2165	0.000401
7.0	0.3961	0.001640	0.2228	0.000423
7.2	0.4074	0.001730	0.2291	0.000445
7.4	0.4188	0.001822	0.2355	0.000468
7.6	0.4301	0.001916	0.2419	0.000491
7.8	0.4414	0.002013	0.2483	0.000515
8.0	0.4527	0.002113	0.2546	0.000540
8.2	0.4640	0.002214	0.2610	0.000565
8.4	0.4753	0.002318	0.2674	0.000591
8.6	0.4867	0.002424	0.2737	0.000617
8.8	0.4980	0.002533	0.2801	0.000644
9.0	0.5093	0.002644	0.2865	0.000671
9.2	0.5206	0.002758	0.2928	0.000699
9.4	0.5319	0.002874	0.2992	0.000727
9.6	0.5432	0.002992	0.3056	0.000756
9.8	0.5546	0.003112	0.3119	0.000786
10	0.5659	0.003235	0.3183	0.000816

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,15		0m,20	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
11	0.6225	0.003886	0.3501	0.000975
12	0.6791	0.004596	0.3820	0.001149
13	0.7356	0.005366	0.4138	0.001336
14	0.7922	0.006195	0.4456	0.001538
15	0.8488	0.007084	0.4775	0.001753
16	0.9054	0.008032	0.5093	0.001983
17	0.9620	0.009039	0.5411	0.002227
18	1.0186	0.010106	0.5730	0.002485
19	1.0752	0.012233	0.6048	0.002757
20	1.1318	0.012419	0.6366	0.003044
21	1.1884	0.013664	0.6684	0.003344
22	1.2449	0.014969	0.7003	0.003658
23	1.3015	0.016333	0.7321	0.003987
24	1.3581	0.017757	0.7639	0.004330
25	1.4147	0.019241	0.7958	0 004687
26	1.4713	0.020783	0.8276	0.005058
27	1.5279	0.022386	0.8594	0.005443
28	1.5845	0.024047	0.8913	0 005852
29	1.6411	0.025769	0.9231	0.006255
30	1 6977	0.027549	0.9549	0.006682
31	1.7542	0.029390	0.9868	0.007124
32	1.8108	0.031289	1.0186	0.007580
33	1.8674	0.033249	1.0504	0.008049
34	1.9240	0.035267	1.0822	0.008533
35	1.9806	0.037345	1.1141	0 009031
36	2.0372	0.039483	1.1459	0.009543
37	2.0938	0.041680	1.1777	0.010069
38	2.1504	0 043937	1.2096	0.010610
39	2.2070	0.046253	1.2414	0.011164

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,15		0m,20	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
40	2.2635	0.048628	1.2732	0.011733
41	2.3201	0.051063	1.3051	0.012315
42	2.3767	0.053558	1.3369	0.012912
43	2.4333	0.056112	1.3687	0.013523
44	2.4899	0.058725	1.4006	0.014148
45	2.5465	0.061398	1.4324	0.014787
46	2.6031	0.064130	1.4642	0.015440
47	2.6597	0.066922	1.4961	0.016108
48	2.7162	0.069774	1.5279	0.016789
49	2.7728	0.072684	1.5597	0.017485
50	2.8294	0.075655	1.5916	0.018195
51	2.8860	0.078684	1.6234	0.018918
52	2.9426	0.081774	1.6552	0.019656
53	2.9992	0.084922	1.6870	0.020408
54	"	"	1.7189	0.021175
55	"	"	1.7507	0.021955
56	"	"	1.7825	0.022749
57	"	"	1.8144	0.023558
58	"	"	1.8462	0.024380
59	"	"	1.8780	0.025217
60	"	"	1.9099	0.026068
61	"	"	1.9417	0.026933
62	"	"	1.9735	0 027812
63	"	"	2.0054	0.028705
64	"	"	2.0372	0.029612
65	"	"	2.0690	0.030534
66	"	"	2.1008	0.031469
67	"	"	2.1327	0.032419
68	"	"	2.1645	0.033383

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,15		0m,20	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
69	"	"	2.1963	0.034360
70	"	"	2.2282	0.035352
71	"	"	2.2600	0.036359
72	"	"	2.2918	0.037379
73	"	"	2.3237	0.038413
74	"	"	2.3555	0.039462
75	"	"	2.3873	0.040524
76	"	"	2.4192	0.041601
77	"	"	2.4510	0.042692
78	"	"	2.4828	0.043796
79	"	"	2.5146	0.044915
80	"	"	2.5465	0.046049
81	"	"	2.5783	0.047196
82	"	"	2.6101	0.048357
83	"	"	2.6420	0.049533
84	"	"	2.6738	0.050722
85	"	"	2.7056	0.051926
86	"	"	2.7375	0.053144
87	"	"	2.7693	0.054376
88	"	"	2.8011	0.055622
89	"	"	2.8330	0.056882
90	"	"	2.8648	0.058156
91	"	"	2.8966	0.059444
92	"	"	2.9284	0.060747
93	"	"	2.9603	0.062064
94	"	"	2.9921	0.063394

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,25		0m,30	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
5.0	0.1086	0.000086	"	"
5.2	0.1059	0.000092	"	"
5.4	0.1100	0.000098	"	"
5.6	0.1141	0.000104	"	"
5.8	0.1182	0.000111	"	"
6 0	0.1222	0.000117	"	"
6.2	0.1263	0.000124	"	"
6.4	0.1304	0.000131	"	"
6.6	0.1345	0.000138	"	"
6.8	0.1385	0.000145	"	"
7.0	0.1426	0.000153	0.0990	0.000068
7.2	0.1467	0.000160	0.1019	0.000072
7.4	0.1508	0.000168	0.1047	0.000075
7.6	0.1548	0.000176	0.1075	0.000079
7.8	0.1589	0.000185	0.1103	0.000082
8.0	0.1630	0.000193	0.1132	0.000086
8.2	0.1671	0.000202	0.1160	0.000089
8.4	0.1711	0.000210	0.1188	0.000093
8.6	0.1752	0.000219	0.1217	0.000097
8.8	0.1793	0.000229	0.1245	0.000101
9.0	0.1833	0.000238	0.1273	0.000105
9.2	0 1874	0.000247	0.1302	0.000109
9.4	0.1915	0.000257	0.1330	0.000113
9.6	0.1956	0.000267	0.1358	0.000117
9.8	0.1996	0.000277	0.1386	0.000121
10	0.2037	0.000288	0.1415	0,000126
11	0.2241	0.000342	0.1556	0.000148
12	0.2445	0.000401	0.1698	0.000173
13	0.2648	0.000464	0.1839	0.000200

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,25		0m,30	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
14	0.2852	0.000532	0.1981	0.000228
15	0.3056	0.000605	0.2122	0.000258
16	0.3259	0.000682	0.2264	0.000290
17	0.3463	0.000764	0.2405	0.000324
18	0.3667	0.000851	0.2546	0.000360
19	0.3871	0.000942	0 2688	0.000398
20	0.4074	0.001038	0.2829	0.000437
21	0.4278	0.001138	0.2971	0.000478
22	0 4482	0.001243	0 3112	0.000522
23	0.4686	0.001353	0.3254	0.000567
24	0.4889	0.001468	0.3395	0.000614
25	0.5093	0.001587	0.3537	0.000663
26	0.5297	0.001710	0.3678	0.000713
27	0.5500	0.001838	0.3820	0.000766
28	0.5704	0.001971	0.3961	0 000820
29	0.5908	0.002109	0.4103	0.000876
30	0.6112	0.002251	0.4244	0.000934
31	0.6315	0.002397	0.4386	0.000994
32	0.6519	0.002549	0.4527	0.001056
33	0.6723	0.002705	0.4669	0.001120
34	0.6926	0.002865	0.4810	0.001185
35	0.7130	0.003031	0.4951	0.001253
36	0.7334	0.003200	0.5093	0.001322
37	0.7538	0.003375	0.5234	0.001393
38	0.7741	0.003554	0.5376	0.001466
39	0.7945	0.003738	0.5517	0.001541
40	0.8149	0.003926	0.5659	0.001618
41	0.8352	0.004119	0.5800	0.001696
42	0.8556	0.004317	0.5942	0.001777

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,25		0m,30	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
43	0.8760	0.004519	0.6083	0.001859
44	0.8963	0.004726	0.6225	0.001943
45	0.9167	0.004937	0.6366	0.002029
46	0.9371	0.005153	0.6508	0.002117
47	0.9575	0.005374	0.6649	0.002307
48	0.9778	0.005599	0.6791	0.002298
49	0.9982	0.005829	0.6932	0.002392
50	1.0186	0.006064	0.7074	0.002487
51	1.0390	0.006303	0.7215	0.002584
52	1.0593	0.006547	0.7356	0.002683
53	1.0797	0.006795	0.7498	0.002784
54	1.1001	0.007048	0.7639	0.002887
55	1.1204	0.007306	0.7781	0.002991
56	1.1408	0.007568	0.7922	0.003098
57	1.1612	0.007835	0.8064	0.003206
58	1.1816	0.008107	0.8205	0.003316
59	1.2019	0.008383	0.8347	0.003428
60	1.2223	0.008664	0.8488	0.003542
61	1.2427	0.008949	0.8630	0.003658
62	1.2631	0.009239	0.8771	0.003775
63	1.2834	0.009534	0.8913	0.003895
64	1.3038	0.009834	0.9054	0.004016
65	1.3242	0.010137	0.9196	0.004139
66	1.3445	0.010446	0.9337	0.004264
67	1.3649	0.010759	0.9478	0.004391
68	1.3853	0.011077	0.9620	0.004520
69	1.4056	0.011400	0.9761	0.004650
70	1.4262	0.011727	0.9903	0.004783
71	1.4464	0.012058	1.0044	0.004917

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser. 0m,25		0m,30	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
72	1.4668	0.012395	1.0186	0.005053
73	1.4871	0.012736	1.0327	0.005191
74	1 5075	0.013081	1.0469	0.005331
75	1.5279	0.013431	1.0610	0.005473
76	1.5483	0.013786	1.0752	0.005616
77	1.5686	0.014146	1.0893	0.005762
78	1.5890	0.014410	1,1035	0.005909
79	1.6094	0.014879	1.1176	0.006058
80	1.6297	0.015252	1.1318	0.006209
81	1.6501	0.015630	1.1459	0.006362
82	1.6705	0.016012	1.1601	0.006517
83	1.6909	0.016400	1.1742	0.006674
84	1.7112	0.016791	1.1884	0.006832
85	1.7316	0 017188	1.2025	0.006992
86	1.7520	0.017589	1.2167	0.007155
87	1.7723	0.017995	1.2308	0.007319
88	1.7927	0.018305	1.2449	0.007485
89	1.8131	0.018820	1.2591	0.007652
90	1.8335	0.019240	1 2732	0.007822
91	1.8538	0.019664	1.2874	0.007993
92	1.8742	0.020093	1.3015	0.008167
93	1.8946	0.020526	1.3157	0.008342
94	1.9150	0.020964	1.3298	0.008519
95	1.9353	0.021407	1.3440	0.008698
96	1.9557	0.021854	1 3581	0.008879
97	1.9761	0.022306	1.3723	0.009061
98	1.9964	0.022763	1.3864	0.009246
99	2.0168	0.023224	1.4006	0.009432
100	2.0372	0.023690	1.4147	0.009620

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,25		0m,30	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
105	2.1390	0.026088	1.4854	0.010589
110	2.2409	0.028603	1.5562	0.011605
115	2.3428	0.031232	1.6269	0.012666
120	2.4446	0.033978	1.6977	0.013775
125	2.5465	0.036839	1.7684	0.014930
130	2.6483	0.039816	1.8391	0.016131
135	2.7502	0.042908	1.9099	0.017379
140	2.8520	0.046116	1.9806	0.018673
145	2.9539	0.049439	2.0513	0.020013
150	3.0558	0.052879	2.1221	0.021401
155	"	"	2.1928	0.022834
160	"	"	2.2635	0.024314
165	"	"	2.3343	0.025841
170	"	"	2.4050	0.027414
175	"	"	2.4757	0.029033
180	"	"	2.5465	0.030699
185	"	"	2.6172	0.032412
190	"	"	2.6879	0.034170
195	"	"	2.7587	0 035976
200	"	"	2.8294	0.037827
205	"	"	2 9002	0.039726
210	"	"	2.9709	0.041670
215	"	"	3.0416	0.043662

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser. 0m,35		0m,40	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
9.8	0.1019	0.000061	"	"
10	0.1039	0.000064	"	"
11	0.1143	0.000075	"	"
12	0.1247	0.000087	0.0955	0.000048
13	0.1351	0.000099	0.1035	0.000055
14	0 1455	0.000113	0.1114	0.000063
15	0.1559	0.000128	0.1194	0.000070
16	0.1663	0.000143	0 1273	0.000079
17	0.1767	0.000159	0.1353	0.000087
18	0.1871	0.000176	0.1432	0.000096
19	0.1975	0.000194	0.1512	0.000106
20	0.2079	0.000213	0.1592	0.000115
21	0.2183	0.000233	0.1671	0.000126
22	0.2287	0.000253	0.1751	0.000137
23	0.2391	0.000275	0 1830	0 000148
24	0.2495	0.000297	0.1910	0.000160
25	0.2598	0.000320	0.1989	0.000172
26	0.2702	0.000344	0.2069	0.000185
27	0.2806	0.000369	0.2149	0.000198
28	0.2910	0.000395	0.2228	0.000212
29	0.3014	0.000421	0.2308	0.000225
30	0.3118	0.000449	0.2387	0.000240
31	0.3222	0.000477	0.2467	0.000255
32	0.3326	0.000506	0.2546	0.000270
33	0.3430	0.000536	0.2626	0.000286
34	0.3534	0.000567	0.2706	0.000302
35	0.3637	0.000599	0 2785	0.000318
36	0.3742	0.000631	0.2865	0.000336
37	0.3846	0.000665	0.2944	0.000353
38	0.3950	0.000699	0.3024	0.000371

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,35		0m,40	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
39	0.4054	0.000734	0.3104	0.000389
40	0 4158	0.000770	0.3183	0.000408
41	0.4261	0.000807	0.3263	0.000427
42	0.4365	0.000845	0.3342	0.000447
43	0.4469	0.000884	0.3422	0.000467
44	0.4573	0.000923	0.3501	0.000488
45	0.4677	0.000963	0.3581	0.000509
46	0.4781	0.001005	0.3661	0.000530
47	0.4885	0.001047	0.3740	0.000552
48	0.4989	0.001089	0.3820	0 000574
49	0.5093	0.001133	0.3899	0.000597
50	0.5197	0.001178	0.3979	0.000620
51	0.5301	0.001223	0.4058	0.000644
52	0.5405	0.001270	0.4138	0.000668
53	0.5501	0.001317	0.4218	0.000693
54	0.5613	0.001365	0.4297	0.000718
55	0.5717	0.001414	0.4377	0.000743
56	0.5821	0.001464	0.4456	0.000769
57	0.5924	0.001514	0.4536	0.000795
58	0.6028	0.001566	0.4615	0.000822
59	0.6132	0.001618	0.4695	0.000849
60	0.6236	0.001671	0.4775	0 000877
61	0.6340	0.001725	0.4854	0.000905
62	0.6444	0.001780	0.4934	0.000933
63	0.6548	0.001836	0.5013	0.000962
64	0.6652	0.001893	0.5093	0.000992
65	0.6756	0.001950	0.5173	0.001021
66	0.6860	0.002009	0.5252	0.001052
67	0.6964	0.002068	0.5332	0.001082
68	0.7068	0.002128	0 5411	0 001113

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser. 0m,35		0m,40	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
69	0.7172	0.002189	0.5491	0.001145
70	0.7276	0.002251	0.5570	0.001177
71	0.7380	0 002314	0.5650	0.001210
72	0.7484	0.002377	0.5730	0.001242
73	0.7587	0.002442	0.5809	0.001276
74	0.7691	0.002507	0.5889	0.001310
75	0.7795	0.002573	0.5968	0.001344
76	0.7899	0.002640	0.6048	0.001379
77	0.8003	0.002708	0.6127	0.001414
78	0.8107	0.002776	0.6207	0.001449
79	0.2811	0.002846	0.6287	0.001485
80	0.8315	6.002917	0.6366	0.001522
81	0.8419	0.002988	0.6445	0.001559
82	0.8523	0.003060	0.6525	0.001596
83	0.8626	0.003133	0.6605	0.001634
84	0.8731	0.003207	0.6684	0.001672
85	0.8835	0.003282	0.6764	0.001711
86	0.8939	0.003357	0.6844	0.001750
87	0.9043	0.003434	0.6923	0.001789
88	0.9147	0.003511	0.7003	0.001829
89	0.9250	0.003589	0.7082	0.001870
90	0.9354	0.003668	0.7162	0.001910
91	0.9458	0.003748	0.7242	0.001952
92	0.9562	0.003829	0.7321	0.001993
93	0.9666	0.003910	0.7401	0.002036
94	0.9770	0.003993	0.7480	0.002078
95	0.9874	0.004076	0.7560	0.002121
96	0.9978	0.004160	0.7639	0.002165
97	1.0082	0.004245	0.7719	0.002209
98	1.0186	0.004331	0.7799	0.002253

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,35		0m,40	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
99	1.0220	0.004418	0.7878	0.002298
100	1.0394	0.004506	0.7958	0.002343
105	1.0913	0.004957	0.8356	0.002576
110	1.1433	0.005429	0.8754	0.002820
115	1.1953	0.005923	0.9151	0.003075
120	1.2473	0.006439	0.9549	0.003341
125	1.2992	0.006976	0.9947	0.003618
130	1.3512	0.007534	1.0345	0.003906
135	1.4032	0.008114	1.0743	0.004205
140	1.4551	0.008716	1.1141	0.004516
145	1.5071	0.009339	1.1539	0.004837
150	1.5591	0.009983	1.1937	0.005169
155	1.6110	0.010649	1.2335	0.005512
160	1.6630	0.011337	1.2732	0.005866
165	1.7150	0.012046	1.3130	0.006232
170	1.7669	0.012776	1.3528	0.006608
175	1.8189	0.013528	1.3926	0.006995
180	1.8709	0 014302	1.4324	0.007394
185	1.9229	0.015097	1.4722	0.007803
190	1.9748	0.015913	1.5120	0.008223
195	2.0268	0.016751	1.5518	0.008655
200	2.0788	0.017611	1.5916	0.009097
205	2.1307	0.018492	1.6313	0.009551
210	2.1827	0.019394	1.6711	0.010015
215	2.2347	0.020318	1.7109	0.010491
220	2.2866	0.021264	1.7507	0.010977
225	2.3386	0.022231	1.7905	0.011475
230	2.3906	0.023219	1.8303	0.011984
235	2.4425	0.024229	1.8701	0.012503
240	2.4945	0.025260	1.9099	0.013034

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,35		0m,40	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
245	2.5465	0.026313	1.9496	0.013576
250	2.5984	0.027388	1.9894	0.014128
255	2.6504	0.028484	2.0292	0.014692
260	2.7024	0.029601	2.0690	0.015267
265	2.7544	0.030740	2.1088	0.015853
270	2.8063	0.031901	2.1486	0.016450
275	2.8583	0.033083	2.1884	0.017057
280	2.9103	0.031286	2.2282	0.017676
285	2 9622	0.035511	2.2680	0.018306
290	2.0142	0.036758	2.3077	0.018947
295	"	"	2.3475	0.019599
300	"	"	2.3873	0.020262
305	"	"	2.4271	0.020936
310	"	"	2.4669	0.021621
315	"	"	2.5067	0.022317
320	"	"	2.5465	0.023024
325	"	"	2.5863	0.023743
330	"	"	2.6261	0.024472
335	"	"	2.6658	0.025212
340	"	"	2.7056	0.025963
345	"	"	2.7454	0.026725
350	"	"	2.7852	0.027499
355	"	"	2.8250	0.028283
360	"	"	2.8648	0.029078
365	"	"	2.9046	0.029885
370	"	"	2.9444	0.030702
375	"	"	2.9842	0.031530
380	"	"	3.0239	0.032370

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	$0^m,45$		$0^m,50$	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
16	0.1006	0.000047	"	"
17	0.1069	0.000052	"	"
18	0.1132	0.000057	"	"
19	0.1195	0.000063	0.0968	0.000039
20	0.1257	0.000068	0.1019	0.000043
21	0.1320	0.000074	0.1070	0.000047
22	0.1383	0.000080	0.1120	0.000051
23	0.1446	0.000087	0.1171	0.000054
24	0.1509	0.000094	0.1222	0.000059
25	0.1572	0.000101	0.1273	0.000063
26	0.1635	0.000108	0.1324	0.000067
27	0.1698	6.000115	0.1375	0.000072
28	0.1761	0.000123	0.1426	0.000076
29	0.1823	0.000131	0.1477	0.000081
30	0.1886	0.000139	0.1528	0.000086
31	0.1949	0.000148	0.1579	0.000091
32	0.2012	0.000156	0.1630	0.000097
33	0.2075	0.000165	0.1681	0.000102
34	0.2138	0.000174	0.1732	0.000108
35	0.2201	0.000184	0.1783	0.000113
36	0.2264	0.000194	0.1833	0.000119
37	0.2326	0.000203	0.1884	0.000125
38	0.2389	0.000214	0.1935	0.000131
39	0.2452	0.000224	0.1986	0.000137
40	0.2515	0.000235	0.2037	0.000144
41	0.2578	0.000245	0.2088	0.000150
42	0.2641	0.000257	0.2139	0.000157
43	0.2704	0.000268	0.2190	0.000164
44	0.2767	0.000280	0.2241	0.000171
45	0.2829	0.000291	0.2292	0.000178
46	0.2892	0.000304	0.2343	0.000185

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,45		0m,50	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
47	0.2955	0.000316	0.2394	0.000193
48	0.3018	0.000329	0.2445	0.000200
49	0.3081	0.000341	0.2496	0.000208
50	0.3144	0.000354	0.2546	0.000216
51	0.3207	0.000368	0.2597	0.000224
52	0.3270	0.000381	0.2648	0.000232
53	0.3332	0.000395	0.2699	0.000240
54	0.3395	0.000409	0.2750	0.000249
55	0.3458	0.000424	0.2801	0.000257
56	0.3521	0.000438	0.2852	0.000266
57	0.3584	0.000453	0.2903	0.000275
58	0.3647	0.000468	0.2954	0.000284
59	0.3710	0.000483	0.3005	0.000293
60	0.3773	0.000499	0.3056	0.000303
61	0.3835	0.000515	0.3107	0.000312
62	0.3898	0.000531	0.3158	0.000322
63	0.3961	0.000547	0.3209	0.000331
64	0.4024	0.000563	0.3259	0.000341
65	0.4087	0.000580	0.3310	0.000351
66	0.4150	0.000597	0.3361	0.000361
67	0.4213	0.000614	0.3412	0.000372
68	0.4276	0.000632	0.3463	0.000382
69	0.4338	0.000650	0.3514	0.000393
70	0.4401	0.000668	0.3565	0.000404
71	0.4464	0.000686	0.3616	0.000414
72	0.4527	0.000704	0.3667	0.000425
73	0.4590	0.000723	0.3718	0.000437
74	0.4653	0.000742	0.3769	0.000448
75	0.4716	0.000761	0.3820	0.000459
76	0.4778	0.000781	0.3871	0.000471
77	0.4841	0.000800	0.3922	0.000483

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	$0^m,45$		$0^m,50$	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
78	0.4904	0.000820	0.3973	0.000495
79	0.4967	0.000840	0.4023	0.000507
80	0 5030	0.000861	0.4074	0.000519
81	0.5093	0.000882	0.4125	0.000531
82	0.5156	0.000903	0.4176	0.000544
83	0.5219	0.000924	0.4227	0.000556
84	0.5282	0.000945	0.4278	0.000569
85	0.5344	0.000967	0.4329	0.000582
86	0.5407	0.000989	0.4380	0.000595
87	0.5470	0.001011	0.4431	0.000608
88	0.5533	0.001033	0 4482	0.000622
89	0.5596	0.001056	0.4533	0.000635
90	0.5659	0.001079	0.4584	0.000649
91	0.5722	0 001102	0.4635	0.000663
92	0.5785	0.001125	0.4686	0.000677
93	0.5847	0.001149	0.4736	0.000691
94	0.5910	0.001173	0.4787	0.000705
95	0.5973	0.001197	0.4838	0.000719
96	0.6036	0.001221	0.4889	0.000734
97	0.6099	0.001246	0.4940	0.000748
98	0.6162	0.001271	0.4991	0.000763
99	0.6225	0.001296	0.5042	0.000778
100	0.6288	0.001321	0.5093	0.000793
105	0.6602	0.001451	0.5348	0.000871
110	0.6916	0.001588	0.5602	0.000952
115	0.7231	0.001730	0.5857	0.001037
120	0.7545	0.001879	0.6112	0.001125
125	0.7860	0.002034	0.6366	0.001217
130	0.8174	0.002195	0.6621	0.001313
135	0.8488	0.002362	0.6875	0.001412
140	0.8803	0.002535	0.7130	0.001515

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,45		0m,50	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
145	0.9117	0.002714	0.7385	0.001622
150	0.9431	0.002900	0.7639	0.001732
155	0.9746	0.003091	0.7894	0.001846
160	1.0060	0.003289	0.8149	0.001963
165	1.0374	0.003492	0.8403	0.002084
170	1.0689	0.003702	0.8658	0.002208
175	1.1003	0.003918	0.8913	0.006337
180	1.1318	0.004140	0.9167	0.002468
185	1.1632	0.004369	0.9422	0.002604
190	1.1947	0.004603	0.9677	0.002743
195	1.2261	0.004844	0.9931	0.002886
200	1.2575	0.005090	1.0186	0.003032
205	1 2890	0.005343	1 0441	0.003182
210	1.3204	0.005602	1.0695	0.003335
215	1.3518	0.005867	1.0950	0.003492
220	1.3833	0.006138	1.1204	0.003653
225	1.4147	0.006415	1.1459	0.003817
230	1.4462	0.006698	1.1714	0.003985
235	1.4767	0.006988	1.1969	0.004157
240	1.5090	0.007283	1.2223	0.004332
245	1.5405	0.007585	0.2478	0.004511
250	1.5719	0.007893	1.2732	0.004693
255	1.6033	0.008207	1.2987	0.004879
260	1.6348	0.008527	1.3242	0.005069
265	1.6662	0.008853	1.3496	0.005262
270	1.6977	0.009185	1.3751	0.005459
275	1.7291	0.009524	1.4056	0.005659
280	1.7605	0.009868	1.4260	0.005863
285	1.7920	0.010219	1.4515	0.006071
290	1.8234	0.010576	1.4770	0.006282

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser.			
	0m,45		0m,50	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
295	1 8549	0.010939	1.5024	0.006497
300	1.8863	0.011308	1.5279	0.006716
305	1.9177	0.011683	1.5534	0.006938
310	1.9492	0.012064	1.5788	0.007163
315	1.9806	0.012451	1.6043	0.007393
320	1.0120	0.012845	1.6298	0.007626
325	2.0435	0.013244	1.6552	0.007862
330	2.0749	0.013650	1.6807	0.008102
335	2.1064	0.014062	1.7061	0.008346
340	2.1378	0.014480	1.7316	0.008594
345	2.1692	0.014904	1.7511	0.008845
350	2.2007	0.015334	1.7825	0.009099
355	2.2321	0.015771	1.8080	0.009358
360	2.2635	0.016213	1.8335	0.009619
365	2.2950	0.016662	1.8589	0.009885
370	2 3264	0.017116	1.8844	0.010154
375	2.3579	0.017577	1.9099	0.010427
380	2.3893	0.018044	1.9353	0.010703
385	2.4207	0.018517	1.9608	0.010983
390	2.4522	0.018996	1.9863	0.011266
395	2.4836	0.019482	2.0117	0.011554
400	2.5150	0.019973	2.0372	0.011844
405	2.5465	0.020471	2.0626	0.012139
410	2.5779	0.020974	2.0881	0.012437
415	2.6094	0.021484	2.1136	0.012738
420	2.6408	0.022000	2.1390	0.013044
425	2.6722	0.022522	2.1645	0.013353
430	2.7037	0.023050	2.1900	0.013665
435	2.7351	0.023584	2.2154	0.013981
440	2.7666	0.024125	2.2409	0.014301

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Volum Wasser in Litern.	Durchmesser. 0m,45		0m,50	
	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.	Mittlere Geschwindigkeit.	Verlust am Gefäll für den laufenden Meter.
Liter.	m	m	m	m
445	2.7980	0.024671	2.2664	0.014624
450	2.8294	0.025224	2.2918	0.014951
455	2.8609	0.025783	2.3173	0.015282
460	2.8923	0.026348	2.3428	0.015616
465	2.9237	0.026919	2.3682	0.015954
470	2.9552	0.027496	2.3937	0.016295
475	2.9866	0.028079	2.4192	0.016640
480	3.0181	0.028668	2.4446	0.016988
485	"	"	2.4701	0.017341
490	"	"	2.4955	0.017696
495	"	"	2.5210	0.018056
500	"	"	2.5465	0.018419
505	"	"	2.5719	0.018785
510	"	"	2.5974	0.019156
515	"	"	2.6229	0.019530
520	"	"	2.6483	0.019907
525	"	"	2.6738	0.020288
530	"	"	2.6993	0.020673
535	"	"	2.7247	0.021061
540	"	"	2.7502	0.021453
545	"	"	2.7757	0.021849
550	"	"	2.8011	0.022248
555	"	"	2.8266	0.022650
560	"	"	2.8521	0.023037
565	"	"	2.8775	0.023467
570	"	"	2.9030	0.023880
575	"	"	2.9284	0.024298
580	"	"	2.9539	0.024718
585	"	"	2.9794	0.025143
590	"	"	3.0048	0.025571

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Durchmesser $0^m,60$.

Volum Wasser in Litern.	Mittlere Geschwindigkeit.	Gefällverlust auf den laufenden Meter.	Volum Wasser in Litern.	Mittlere Geschwindigkeit.	Gefällverlust auf den laufenden Meter.
Liter.	m	m	Liter.	m	m
29	0.1026	0.000036	58	0.2051	0.000121
30	0.1061	0.000038	59	0.2087	0.000125
31	0.1096	0.000041	60	0.2122	0.000129
32	0.1132	0.000043	61	0.2157	0.000133
33	0.1167	0.000045	62	0.2193	0.000137
34	0.1203	0.000047	63	0.2228	0.000141
35	0.1238	0.000050	64	0.2264	0.000145
36	0 1273	0.000052	65	0.2299	0.000149
37	0.1309	0.000055	66	0.2334	0.000153
38	0.1344	0.000057	67	0.2370	0.000158
39	0.1379	0.000060	68	0.2405	0.000162
40	0.1415	0.000063	69	0.2440	0.000166
41	0.1450	0.000066	70	0.2476	0.000171
42	0.1485	0.000068	71	0.2511	0.000175
43	0.1521	0.000071	72	0.2546	0.000180
44	0.1556	0.000074	73	0.2582	0.000185
45	0 1592	0.000077	74	0.2617	0.000189
46	0.1627	0.000080	75	0.2653	0.000194
47	0.1662	0.000083	76	0.2688	0.000199
48	0.1698	0.000087	77	0.2723	0.000204
49	0.1733	0.000090	78	0.2759	0.000209
50	0.1768	0.000093	79	0.2794	0.000213
51	0.1804	0.000096	80	0.2829	0 000219
52	0.1839	0.000100	81	0.2865	0.000224
53	0.1874	0.000103	82	0.2900	0.000229
54	0.1910	0.000107	83	0.2936	0.000234
55	0.1945	0.000110	84	0.2971	0.000239
56	0.1981	0.000114	85	0.3006	0.000244
57	0.2016	0.000118	86	0.3042	0.000250

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Durchmesser $0^m,60$.

Volum Wasser in Litern.	Mittlere Geschwindigkeit.	Gefällverlust auf den laufenden Meter.	Volum Wasser in Litern.	Mittlere Geschwindigkeit.	Gefällverlust auf den laufenden Meter.
Liter.	m	m	Liter.	m	m
87	0.3077	0.000255	180	0.6366	0.001014
88	0.3112	0.000261	185	0 6543	0.001070
89	0.3148	0.000266	190	0.6720	0.001126
90	0 3183	0.000272	195	0.6897	0.001184
91	0.3218	0.000278	200	0.7074	0.001243
92	0.3254	0.000283	205	0.7250	0.001304
93	0.3289	0.000289	210	0.7427	0.001367
94	0.3325	0.000295	215	0.7604	0.001430
95	0.3360	0.000301	220	0.7781	0.001496
96	0.3395	0.000307	225	0.7958	0.001562
97	0 3431	0.000313	230	0.8135	0.001630
98	0.3466	0.000319	235	0.8311	0 001700
99	0.3501	0.000325	240	0.8488	0.001771
100	0.3537	0.000331	245	0.8665	0.001843
105	0.3714	0.000363	250	0.8842	0.001917
110	0.3890	0.000396	255	0.9019	0.001993
115	0.4067	0.000431	260	0.9196	0.002069
120	0.4244	0.000467	265	0.9372	0.002148
125	0.4421	0.000505	270	0.9549	0.002227
130	0.4598	0.000544	275	0.9726	0.002309
135	0.4775	0.000584	280	0.9903	0.002391
140	0.4951	0.000626	285	1.0080	0.002475
145	0 5128	0.000670	290	1.0257	0.002561
150	0 5305	0.000715	295	1.0433	0.002648
155	0.5482	0.000761	300	1.0610	0.002736
160	0.5659	0.000809	305	1.0787	0.002826
165	0.5836	0.000858	310	1.0964	0.002918
170	0.6013	0.000909	315	1.1141	0.003010
175	0.6189	0.000961	320	1.1318	0.003105

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Durchmesser $0^m,60$.

Volum Wasser in Litern.	Mittlere Geschwindigkeit.	Gefällverlust auf den laufenden Meter.	Volum Wasser in Litern.	Mittlere Geschwindigkeit.	Gefällverlust auf den laufenden Meter.
Liter.	m	m	Liter.	m	m
325	1.1494	0.003200	470	1.6623	0 006607
330	1.1671	0.003298	475	1.6800	0.006747
335	1.1848	0.003396	480	1.6977	0.006887
340	1.2025	0.003496	485	1.7153	0.007030
345	1.2202	0.003597	490	1.7330	0.007173
350	1.2379	0.003701	495	1.7507	0.007318
355	1.2556	0.003805	500	1.7684	0.007465
360	1.2732	0.003911	505	1.7861	0.007613
365	1.2909	0.004018	510	1.8038	0.007762
370	1.3086	0.004127	515	1.8214	0.007913
375	1.3263	0.004237	520	1.8391	0.008065
380	1.3440	0.004349	525	1.8568	0.008219
385	1.3617	0.004462	530	1.8745	0.008374
390	1.3793	0.004577	535	1.8922	0.008531
395	1.3970	0.004693	540	1.9099	0.008689
400	1.4147	0.004810	545	1.9275	0.008849
405	1.4324	0.004929	550	1.9452	0.009010
410	1.4501	0.005049	555	1.9629	0.009172
415	1.4678	0.005171	560	1.9806	0.009336
420	1.4854	0.005295	565	1.9983	0.009502
425	1.5031	0.005419	570	2.0160	0.009669
430	1.5208	0.005545	575	2.0336	0.009837
435	1.5385	0.005673	580	2.0513	0.010007
440	1.5562	0.005802	585	2.0690	0 010178
445	1.5739	0.005933	590	2.0867	0.010351
450	1.5916	0.006065	595	2.1044	0.010525
455	1.6092	0.006198	600	2.1221	0.010700
460	1.6269	0.006333	605	2.1397	0 010877
465	1.6446	0.006470	610	2.1574	0.011056

Tafel über die Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Durchmesser $0^m,60$.

Volum Wasser in Litern.	Mittlere Geschwindigkeit.	Gefällverlust auf den laufenden Meter.	Volum Wasser in Litern.	Mittlere Geschwindigkeit.	Gefällverlust auf den laufenden Meter.
Liter.	m	m	Liter.	m	m
615	2.1751	0.011236	735	2.5995	0.015989
620	2.1928	0.011417	740	2.6172	0.016206
625	2.2105	0.011600	745	2.6349	0.016423
630	2.2282	0.011784	750	2.6526	0.016643
635	2.2459	0.011970	755	2.6703	0.016863
640	2.2635	0.012157	760	2.6879	0.017085
645	2.2812	0.012346	765	2.7056	0.017309
650	2.2989	0.012536	770	2.7233	0.017534
655	2.3166	0.012727	775	2.7410	0.017760
660	2.3343	0.012920	780	2.7587	0.017988
665	2.3520	0.013115	785	2.7764	0.018217
670	2.3696	0.013311	790	2.7941	0.018448
675	2.3873	0.013508	795	2.8117	0.018680
680	2.4050	0.013707	800	2.8294	0.018914
685	2.4227	0.013907	805	2.8471	0.019149
690	2.4404	0.014109	810	2 8648	0.019385
695	2.4581	0.014312	815	2.8825	0.019623
700	2.4757	0.014517	820	2.9002	0.019863
705	2.4934	0.014723	825	2.9178	0.020104
710	2.5111	0.014930	830	2.9355	0.020346
715	2.5288	0.015139	835	2.9532	0.020590
720	2.5465	0.015350	840	2.9709	0.020835
725	2.5642	0.015561	845	2.9886	0.021082
730	2.5818	0.015775	850	3.0063	0.021330

Gebrauch dieser Tafel.

68. Mit Hilfe dieser Tafel lassen sich mehrere wichtige Aufgaben bequem auflösen.

Beispiel.

Eine Röhrenleitung von 2000^{m} Länge soll bei einem Gefälle von 3 Metern in jeder Sekunde 0^{mc},011 Wasser liefern; welchen Durchmesser muß sie erhalten?

Es ist $I = \frac{3}{2000} = 0{,}0015$.

In der Horizontalspalte, welche die Wassermenge 0^{mc},011 oder 11 Liter anzeigt, suche man in der Spalte, welche den Gefällsverlust angibt, die Zahl, welche zunächst bei $I = 0{,}0015$ liegt, ohne jedoch größer zu sein. Man findet 0,000975 beim Durchmesser 0^{m},20. Dieser Durchmesser ist etwas zu groß, aber der vorhergehende 0^{m},15 ist zu klein, da er schon den Druck 0^{m},003886 für jeden laufenden Meter braucht, um 11 Liter Wasser in der Sekunde zu geben.

Man nimmt gerne den Durchmesser der Leitung etwas zu groß.

69. Will man bestimmen, bis zu welcher Höhe eine gegebene Wassermenge am Ende einer Leitung über den Boden aufsteigen kann, so suche man in der Tafel den zur gegebenen Wassermenge und den gegebenen Durchmesser gehörigen Gefällverlust. Diesen multiplicire man mit der Länge der ganzen Leitung, und man erhält den ganzen Gefällverlust. Zieht man diesen von der Höhe des Niveaus im Reservoir, von dem die Leitung ausgeht, ab, so bleibt die Höhe übrig, bis zu der das Wasser aufsteigen kann.

Beispiel.

In dem Fall der vorhergehenden Nummer sei 50^{m} die Cote des Niveaus im obern Reservoir; wie hoch steigt das Wasser an einem Orte, dessen Cote 53,^{m}00 ist, über den Boden? Die Coten beziehen sich auf einen höher liegenden Horizont. Der Gefällverlust bei 11 Liter Wasser in der Sekunde und 0^{m},20 Durchmesser beträgt 0^{m},000975 auf den laufenden Meter; also für die ganze Länge $2000 \times 0{,}000975 = 1^{m},95$, so daß das Wasser noch bis zur Cote $50 + 1{,}95 = 51^{m},95$ ansteigt, also $53{,}00 - 51{,}95 = 1^{m},05$ über den Boden.

70. Auch die Kraft kann man mit Hilfe dieser Tafel berechnen, die man bedarf, um Wasser auf eine bestimmte Höhe durch eine Wasserleitung zu heben, und kann den oft ungeheuern Widerstand schätzen, den eine lange Röhrenleitung der Erhebung des Wassers entgegensetzt.

Sollen z. B. zu Marly 180 Liter Wasser in der Sekunde in das Reservoir des Aquaducts gehoben werden, das 166^m über dem Niveau der Seine liegt, und das 1400^m von ihr entfernt ist, so hat man bei 0^m,30 Durchmesser der Röhren auf jeden laufenden Fuß 0^m,0307 Gefällverlust oder Widerstand; auf die Länge von 1400^m somit $1400 \times 0{,}0307 = 42^m{,}98$, oder es ist dasselbe als müßten die 180 Liter Wasser auf $166 + 43 = 209^m$ erhoben werden, wozu 502 Pferdekräfte erforderlich sind, wovon auf Ueberwindung der Widerstände allein 103 Pferdekräfte kommen.

Die Widerstände nehmen aber sehr schnell ab, wenn der Durchmesser vergrößert wird, wie folgende Tafel zeigt.

Durchmesser.	Druckhöhe durch die Reibung verloren		Arbeit durch die Widerstände veranlaßt.	Nutzbringende Arbeit.	Ganze Arbeit.
	für den laufenden Meter.	im Ganzen.	Pferdekräfte.		
m	m	m			
0.30	0.030699	42.98	103.15	398.40	501.55
0.35	0.014302	20.02	48.05	398.40	446.45
0.40	0.007394	10.35	24.84	398.40	423.24
0.45	0.004140	5.80	13.92	398.40	412.32
0.50	0.002468	3.46	8.30	398.40	406.70
0.60	0.001014	1.42	3.41	398.40	401.81

Es würde also hier ein Durchmesser von 0^m,40 genügen.

71. Man sieht aus den Tafeln, daß die Widerstände sehr schnell mit der Geschwindigkeit wachsen. Man nimmt deßhalb für kleinere Durchmesser einige Centimeter und für größere einige Decimeter Geschwindigkeit. Ist das Wasser unrein, und fürchtet man Ablagerungen von Sand und dergl., so muß man die in Nr. 40 angegebenen Geschwindigkeiten annehmen.

72. Sollen mit einer Leitung von durchaus gleichem Durchmesser an verschiedenen Orten ihrer Länge Brunnen gespeist werden, so sucht man mit

Hilfe der Tafeln den Gefällverlust für jede einzelne Strecke, und addirt zuletzt alle diese zusammen, und versichert sich, daß diese Summe die vorhandene Druckhöhe nicht übersteigt.

In solchen Fällen wählt man die kleinstmöglichen Durchmesser der Leitung.

73. Für die laufenden Brunnen rechnet man für jede Röhre ungefähr $0^{mc},00180$ in der Sekunde, und es genügt, wenn sich das Wasser noch einige Decimeter über die Ausflußöffnung erheben kann.

Beispiel.

Eine Wasserleitung soll aus einem Reservoir, dessen Niveau die Cote 50^{m} unter dem Horizonte hat, 20 laufende Brunnen, jeden mit $0^{m},00180$ speisen. Die Brunnen sind wie folgt über die ganze Länge der Leitung verbreitet:

4	in	100^{m}	vom Anfange,
2	in	80	von da weiter,
2	in	90	" " "
4	in	70	" " "
2	in	80	" " "
2	in	50	" " "
4	in	60	" " "
20			

Wählt man eine Leitung von $0^{m},20$ Durchmesser, so findet man mit Hilfe der Tafeln folgende Resultate:

Zahl der zu speisenden Brunnen.	Volum Wasser in Litern.	Entfernungen von diesem Volum zu durchlaufen.	Druckhöhen	
			auf den Meter.	im Ganzen.
		m	m	m
20	36.0	100	0.009543	0.95430
16	28.8	80	0.006172	0.49376
14	25.2	90	0.004761	0.42849
12	21.6	70	0.003532	0.24724
8	14.4	80	0.001624	0.12992
6	10.8	50	0.000943	0.04715
4	7.2	60	0.000445	0.02670
			Summe .	2.32756

Da das Niveau des Reservoirs die Cote 50^m hat, so wird das Wasser am Ende der Röhre nur zur Cote $52^m,328$ aufsteigen. Hat dort der Boden die Cote $54^m,60$, so steigt das Wasser noch $2^m,27$ über den Boden, was mehr als hinreichend für das Speisen der Brunnen am Ende der Leitung ist.

Wäre dagegen die Cote des Bodens geringer als 52,328, so müßte man eine weitere Leitung nehmen, welche einen geringeren Gefällverlust gegeben hätte.

74. Kommen Krümmungen vor, so vermehrt sich die Druckhöhe etwas. Diese Krümmungen sollen immer gehörig abgerundet seyn. Dann ist der Gefällverlust, welcher durch eine Krümmung hervorgebracht wird,

$$h = H\,(0{,}0039 + 0{,}0186\,r)\,\frac{c}{r^2},$$

wobei

h die verlorne Druckhöhe,
H die mittlere Geschwindigkeitshöhe,
r den Radius der Krümmung und
c die Länge des gekrümmten Theils bedeutet.

Diese Formel zeigt, daß ein vergrößerter Krümmungshalbmesser den Gefällverlust vermindert.

Beispiel.

Die Wasserleitung der vorhergehenden Nummer habe 3 Biegungen im rechten Winkel, mit einem Krümmungsradius $r = 0^m,75$. Dann ist

$$c = \frac{3{,}14 \times 0{,}75}{2} = 1^m,177$$

und damit

$$(0{,}0039 + 0{,}0186\,r) \times \frac{c}{r^2} = 0{,}03734.$$

Sind die Krümmungen in den Entfernungen 100^m, 270^m und 420^m angebracht, hinter den Brunnen an diesen Stellen, so hat man folgende Angaben:

Nummer der Krümmung.	Volum Wasser.	Mittlere Geschwindigkeit.	Entsprechende Druckhöhe.
	Liter.	m	m
1	28.8	0.9167	0.0428
2	21.6	0.6875	0.0241
3	10.8	0.3438	0.00602

Daraus findet man für den Gefällverluſt bei jeder Krümmung,

1. 0,0428 × 0,03734 = 0m,00160
2. 0,0241 × 0,03734 = 0 ,00090
3. 0,00602 × 0,03734 = 0 ,00022

Geſammtverluſte . 0m,00272.

Man ſieht an dieſem Beiſpiele, daß die Gefällverluſte durch Krümmungen gegen die durch Adhäſion ſehr unbedeutend ſind, und daß man ſie, ſo oft nicht ſehr viele Krümmungen vorkommen, ganz unberückſichtigt laſſen könne.

Vertheilung des Waſſers durch eine Röhrenleitung, die mehrere verſchiedene Durchmeſſer hat.

75. Iſt die bewegende Kraft hinreichend, ſo kann man die Leitung in dem Maaße enger werden laſſen, als das zu führende Waſſer an Volum abnimmt, was Rückſichten der Oekonomie fordern. Man muß ſich dann durch die Berechnung der in jedem Stück der Leitung ſtattfindenden Gefällverluſte überzeugen, daß das Waſſer ſich an dem Orte jeder Ausflußröhren hinreichend erheben kann, um die gewünſchte Ausflußmenge zu ſichern.

Beiſpiel.

Die Waſſervertheilung des Beiſpiels in Nr. 73 ſoll durch Röhren von verſchiedenen Durchmeſſern bewirkt werden.

Die nachfolgende Tafel gibt eine Anordnung, welche in dieſem Falle angenommen werden könnte.

Zahl der Brunnen.	Waſſervolum.	Entfernung zu durchlaufen.	Durchmeſſer der Röhren.	Gefällverluſt für den Meter.	Gefällverluſt im Ganzen.
	Liter.	m	m		
20	36.0	100		0.009543	0.95430
16	28.8	80	0.20	0.006172	0.49376
14	25.2	90		0.004835	0.42849
12	21.6	70		0.014447	1.01129
8	14.4	80	0.15	0.006551	0.52408
6	10.8	50		0.003756	0.18780
4	7.2	60	0.10	0.012343	0.74058
				Summe .	4.34030.

Die Cote des Niveau's ist 50m; das Wasser erhebt sich also am Ende der Röhrenleitung noch zur Cote 54m,34. Der Boden hat dort die Cote 54m,6, so daß also das Wasser noch 0m,260 über den Boden steigen könnte, und mit der hierzu gehörigen Geschwindigkeit ausfließt.

Verhältnisse der Krümmungen bei Wasserleitungen.

76. Bei den Pariser Wasserleitungen nimmt man für die Krümmungen folgende Verhältnisse:

Durchmesser der Röhren.	Krümmungshalbmesser der Axe.	Aufwicklung der gekrümmten Axe für 10° Winkel der Radien.
m	m	
0.05 bis 0.06	0.45	0.079
0.08 bis 0.10	0.50	0.087
0.15	0.75	0.131
0.20	1.00	0.174
0.25 und darüber	1.50	0.261

Dimensionen der Leitungsröhren, wie sie bei den Wasserleitungen in Paris gebraucht werden.

77. Man gibt in Paris den Röhrenwänden eine Dicke, welche hinreichend genau durch die Formel

$$e = 0{,}02\,d + 0{,}01$$

gegeben ist, wo **e** die Dicke und **d** der Durchmesser ist. Diese Röhren werden bei einem Drucke von 10 Atmosphären probirt.

Bayerische Staatsbibliothek München

Tafel der Dimensionen der Röhren für Wasserleitungen in Städten.

Durchmesser der Röhren.	Länge d. Röhren: 1. Mit Muff am einen Ende. 2. Mit Scheibe am einen Ende und Muff am andern.	Länge d. Röhren: 3. Mit Scheibe am einen Ende. 4. Mit Scheiben an beiden Enden.	Dicke der Röhren.	Muff: Länge.	Muff: Dicke.	Muff: innerer Durchmesser.	Ringe: Breite.	Ringe: Vorsprung über die Röhre.	Ringe: Anzahl.	Scheiben: äußerer Durchmesser.	Scheiben: Durchmesser durch die Schraubenlöcher.	Scheiben: Dicke an der Röhre.	Scheiben: Verjüngung.	Scheiben: Zahl der Löcher.
m	m	m	m	m	m	m	m	m		m	m	m	m	
0,05	1,60	1,50	0,0110	0,10	0,015	0,090	0,08	0,0035	2	0,195	0,158	0,016	0,003	3
0,06			0,0112			0,100				0,205	0,168			
0,08	2,12	2,00	0,0116	0,12	0,016	0,120	0,08	0,0040	2	0,225	0,188	0,020	0,004	4
0,10			0,0120			0,140				0,245	0,208	0,024		
0,15	2,65	2,50	0,0130	0,15	0,020	0,195	0,08	0,0050	3	0,301	0,268	0,025	0,005	6
0,20			0,0140			0,245				0,355	0,320	0,030		6
0,25			0,0150			0,300				0,410	0,375	0,035		6
0,30			0,0160			0,350				0,470	0,430	0,040		8
0,35	2,70	2,50	0,0170	0,20	0,025	0,410	0,08	0,0050	3	0,530	0,495	0,045	0,005	8
0,40			0,0180			0,460				0,585	0,547	0,045		9
0,45			0,0190			0,510				0,650	0,605	0,045		9
0,50			0,0200			0,560				0,700	0,655	0,045		12
0,60			0,0220			0,660				0,800	0,755	0,045		12

Allgemeine Bemerkung über die Einrichtung von Röhrenleitungen.

78. Kann man bei Einrichtung einer großen Wasserleitung die Biegungen nicht vermeiden, oder ihnen keine großen Krümmungshalbmesser geben, und besonders dann, wenn bei den Röhrenverbindungen Unebenheiten im Innern entstehen, ist es klug, die zu liefernde Wassermenge in den Formeln um $^1/_4$ oder $^1/_3$ ihres Werthes größer anzunehmen.

Bestimmung des Drucks auf einen beliebigen Punkt der Röhrenleitung.

79. Häufig ist es von Wichtigkeit den Druck kennen zu lernen, welchen die Wände der Leitung auszuhalten haben, um hiernach die Dicke dieser Wand zu bestimmen. Dazu hat man die Gleichung

Fig. 16.

$$P' = P + 1000\,[H - (h' - h)],$$

worin

P' den gesuchten Druck auf 1^{mq} in Kilogrammen bedeutet,

P den Druck im Anfang oder einem bestimmten Punkte der Leitung,

H die Tiefe des Punktes, wo der Druck P' ist, unter dem, wo er P ist,

h' und h die Geschwindigkeitshöhen für die Punkte, wo die Pressungen P' und P sind.

Diese Geschwindigkeiten sind leicht zu bestimmen; man dividirt die Wassermenge durch den jedesmaligen Querschnitt.

Hat die Leitung durchaus denselben Querschnitt, so hat man $h' = h$, und dann ist einfacher

$$P' = P + 1000\,H.$$

Beispiel.

Wie groß ist der Druck des Wassers auf 1^{mq} an einer Stelle, die 25^m unter dem oben offenen Reservoir, in dem das Niveau 2 Meter über der Mitte des Anfangs der Röhrenleitung liegt?

Man hat $P = 2 \times 1000^{kil} = 2000^{kil}$, also

$$P' = 2000 + 1000 \times 25 = 27000^{kil}$$

Bayerische Staatsbibliothek München

oder 2,61 Atmosphären. (Der Druck einer Atmosphäre auf 1^{mq} ist nämlich 10333^{kil}.)

Wassermenge bei einer Ausflußöffnung eines Behälters, in dem das Niveau sich während des Ausflusses ändert.

80. Fließt durch eine Oeffnung mehr Wasser, als zufließt, so senkt sich das Niveau und die Druckhöhe wird kleiner.

Man kann dann folgenden Weg einschlagen, um die in einer gegebenen Zeit ausgeflossene Wassermenge zu bestimmen.

Das Wasser steht über dem obern Rand der Oeffnung.

81. Man bringt einen vertikalen Stab in den Behälter und bemerkt an diesem nach gleichen Zeiträumen und in ungerader Anzahl die jedesmaligen Wasserstände. Ist dieß geschehen, und nennt man

L die Weite der Ausflußöffnung,

E die Höhe derselben,

m den Coefficienten für die Ausflußmenge, für den man das arithmetische Mittel aus den Werthen nimmt, die zur größten und der kleinsten beobachteten Druckhöhe gehören,

h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 die Wasserstände nach vier gleichen Zeiträumen, je von der Dauer von t Sekunden,

Q die Ausflußmenge während der ganzen Dauer von 4 t Sekunden; so hat man

$$Q = 1{,}476\, m\, L\, E\, t\, [\sqrt{h_1} + \sqrt{h_5} + 4\,(\sqrt{h_2} + \sqrt{h_4}) + 2\sqrt{h_3}],$$

eine Formel, die mit folgender Regel übereinstimmt:

Um die Wassermenge zu erhalten, die in einer gegebenen Zeit durch eine Oeffnung fließt, wenn das Niveau über dem Höchsten der Oeffnung bleibt, aber sich ändert, und wenn man die Aenderungen des Niveaus auf gesagte Weise beobachtet hat,

Nehme man die Quadratwurzeln aus jeder Druckhöhe über dem Mittel der Oeffnung,

Addire zur Summe der größten und kleinsten viermal die Summe der Wurzeln der geraden

Druckhöhen, der Ordnung der Beobachtungen nach, und zweimal die Summe der Wurzeln aus den ungeraden Druckhöhen,

Die Totalsumme multiplizire man mit der Zeit, die zwischen zwei Beobachtungen verfloß, mit der Größe der Oeffnung, mit dem Coefficienten der Ausflußmenge und mit 1,476.

Bemerkung. So wie hier die Regel ausgesprochen wurde, ist sie auf eine beliebige ungerade Anzahl von Beobachtungen, nach gleichen Intervallen angestellt, anwendbar. In den gewöhnlichen Fällen wird man mit fünf Höhen, wie sie die Formel annimmt, ausreichen.

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 3′ durch eine Oeffnung von 1^m Weite und $0^m,30$ Höhe, wenn das Niveau nach und nach folgende Höhen über der Mitte der Oeffnung hat.

Zeit	0″	45″	90″	135″	180″
Druckhöhen	1,30 m	1,10 m	0,81 m	0,63 m	0,46 m
Quadratwurzeln hieraus	1,138	1,048	0,900	0,794	0,678

Der Coefficient der Ausflußmenge ist $m = 0{,}603$, und nun nach obiger Regel

$$Q = 1{,}476 \times 0{,}603 \times 1 \times 0{,}30 \times 45 \left\{ \begin{array}{l} 1{,}138 + 0{,}678 + \\ +4(1{,}048 + 0{,}794) \\ +2 \times 0{,}900 \end{array} \right\} = 132^{mc}$$

Ueberfall.

82. Um die Wassermenge zu berechnen, welche in einer bestimmten Zeit durch einen Ueberfall fließt, wenn die Druckhöhe sich während des Ausflusses ändert, beobachte man, wie in der vorhergehenden Nummer gesagt wurde, die auf einander folgenden Höhen des Niveaus über der Sohle des Ueberfalls, immer nach gleichen Zeiten. Bedeutet dann

L die Weite des Ueberfalls,

$m = 0{,}405$, den mittleren Werth des Coefficienten der Wassermenge,

H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, die auf einander folgenden beobachteten Höhen des Niveaus über der Sohle des Ueberfalls, je nach der Zeit t,

Q die Wassermenge, während der ganzen Zeit 4 t, so hat man

$$Q = 0{,}598 L t [H_1 \sqrt{H_1} + H_5 \sqrt{H_5} + 4(H_2 \sqrt{H_2} + H_4 \sqrt{H_4}) + 2H_3 \sqrt{H_3}].$$

Diese Formel läßt sich, wie die der vorhergehenden Nummer, auf jede ungerade Zahl von beobachteten Höhen ausdehnen.

Beispiel.

Wie viel Wasser geht in 20′ durch einen Ueberfall von 15m Weite, wenn das Niveau nach und nach folgende Höhen über der Sohle des Ueberfalls hat?

Zeit	0″	300″	600″	900″	1200″
Höhe des Niveaus	1m	0m,80	0m,62	0m,47	0m,33

Man hat zuerst

$H\sqrt{H} =$	1	0,716	0,487	0,322	0,189

Die Formel gibt nun

$$Q = 0{,}598 \times 15 \times 300[1 + 0{,}189 + 4(0{,}716 + 0{,}322) + 2 \times 0{,}487] = 16994^{mc}$$

Bemerkung über das Messen der Niveauhöhen.

83. Kann man aus irgend einem Grunde die Höhen des Niveaus nicht in gleichen Zeitabständen messen, so konstruirt man die Kurve, deren Abscissen die seit dem Anfange der Beobachtung verflossenen Zeiten, und deren Ordinaten die beobachteten Druckhöhen sind. Nun theile man die ganze Dauer der Beobachtung in eine gerade Anzahl gleicher Theile, und messe die zu den Theilpunkten gehörigen Ordinaten; die Werthe dieser Ordinaten nimmt man nun für die Werthe von h und verfährt damit nach Nr. 81 oder 82.

Untergetauchte Oeffnungen.

84. Ist die Ausflußöffnung unter Wasser, so verfährt man auf dieselbe Art, wobei man zu gleicher Zeit die Wasserstände ober- und unterhalb der Mündung beobachtet.

Behält man die bisher gebrauchten Bezeichnungen bei, und nennt man H_1 und h_1, H_2 und h_2 ꝛc. die gleichzeitigen Wasserstände vor und hinter der Oeffnung im Anfang der Beobachtung, nach t, 2 t ꝛc. Sekunden; so erhält man die Ausflußmenge in der ganzen Zeit der Beobachtung nach der Formel

$$Q = 1{,}476 m L E t [\sqrt{H_1 - h_1} + \sqrt{H_5 - h_5} + 4(\sqrt{H_2 - h_2} + \sqrt{H_4 - h_4}) + 2\sqrt{H_3 - h_3}]$$

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 5′ durch die beiden Schützen einer Schleuse, von denen jede $0^m,70$ Weite und $0^m,60$ Höhe hat, wenn die Wasserstände vor und hinter der Schleuse nach und nach folgende Höhen haben?

Zeit		0″	75″	150″	225″	300″
		m	m	m	m	m
Werthe von	H	2,00	1,75	1,33	1,13	0,94
	h	0,65	0,75	0,83	0,89	0,94

Daraus hat man

m	m	m	m	m	
Werthe von H – h	1,35	1,00	0,500	0,24	0
Werthe von $\sqrt{H-h}$	1,16	1,00	0,707	0,49	0

Man hat (Nr. 16) $m = 0,625$.

Die Formel gibt

$$Q = 2 \times 1,476 \times 0,625 \times 0,70 \times 0,60 \times 75 \left\{ \begin{matrix} 1,16 + 4 \times 1,49 \\ + 2 \times 0,707 \end{matrix} \right\} = 495^{mc}.$$

Oeffnung, die zuerst frei und später unter Wasser steht.

85. Gießt die Oeffnung das Wasser zuerst in die freie Luft und erhebt sich dieses später hinter ihr, so berechnet man zuerst die Wassermenge, welche in der ersten Zeit ausfloß, nach Nr. 13 oder 81, und addirt dazu die Wassermenge, welche in der Zeit ausfloß, wo die Oeffnung im Hinterwasser stand, welche man nach Nr. 84 berechnet.

Die Bestimmung der Kurve, welche die Wasserstände bilden, wie in Nr. 83, wird hier sehr nützlich seyn.

Beispiel.

Wie viel Wasser fließt in 7′ durch eine Oeffnung von $0^m,75$ Weite und $0^m,60$ Höhe, bei einem gleichbleibenden Wasserstande von $1^m,50$ über der Mitte der Ausflußöffnung, welche in den ersten 3′ frei ist, und für welche die Druckhöhen über ihrer Mitte im Hinterwasser nach und nach folgende Werthe annehmen.

Verflossene Zeit	180″	240″	300″	360″	420″
Druckhöhen	$0^m,30$	$0^m,61$	$0^m,85$	$1^m,15$	$1^m,50$

In der ersten Periode, wo die Oeffnung nicht untergetaucht ist, ist die Wassermenge nach Nr. 13 und weiter

$$Q = 0{,}601 \times 0^m{,}75 \times 0^m{,}60 \sqrt{19{,}62 \times 1{,}50} \times 180 = 265^{mc}.$$

Für die zweite Periode hat man zuerst

Werthe von H–h	1,200 m	0,890 m	0,650 m	0,350 m	0 m
Werthe von $\sqrt{H-h}$	1,095	0,944	0,806	0,592	0

und folglich

$$Q = 1{,}476 \times 0{,}601 \times 0{,}75 \times 0{,}60 \times 60\,(1{,}095 + 6{,}144 + 1{,}612) = 212^{mc}$$

Die ganze Wassermenge in 7′ ist daher

$$Q = 265 + 212 = 477^{mc}.$$

Bestimmung der Wassermenge durch Beobachtung an einer Ausflußöffnung, vor welcher das Niveau sich ändert.

86. Oft braucht man lange Zeit, eine Ausflußöffnung so zu reguliren, daß alles Wasser des Bachs durchströmt und das Niveau konstant bleibt, wo man dann die Wassermenge nach den Regeln in Nr. 13 und weiter bestimmen könnte. Kann man diesen Gleichgewichtszustand nicht abwarten, so kann man auf folgende Art verfahren:

Man öffnet die Schütze so weit, daß mehr Wasser durchfließt als der Bach liefert, und folglich das Niveau sich senkt. Man beobachtet nun die Wasserstände in gleichen Intervallen, und berechnet das während der ganzen Zeit ausgeströmte Wasser nach den Formeln in Nr. 81 und weiter.

Nun schließt man schnell die Schütze, und beobachtet, wie viel Zeit verfließt, bis das Wasser wieder dasselbe Niveau erreicht, das es im Anfang der Operation hatte.

Bedeutet jetzt

Q die Wassermenge, welche während des Offenseyns der Schütze ausströmte,

t die Dauer dieses Ausströmens in Sekunden,

t^1 die Zeit, welche verfloß bis das ursprüngliche Niveau wieder hergestellt war,

X die Wassermenge, welche die Quelle in 1″ liefert, so hat man

$$X = \frac{Q}{t + t^1}.$$

Beiſpiel.

In dem Falle des Beiſpiels in Nr. 81 erreiche der Waſſerſpiegel in 2′ nach Schließung der Schütze ſeinen urſprünglichen Stand wieder; wie viel Waſſer liefert der Bach?

Man hat $Q = 132^{mc}$, $t = 180''$ und $t^1 = 120''$, folglich die Waſſermenge des Bachs

$$X = \frac{132}{180 + 120} = 0^{mc},440 \text{ in } 1''.$$

Erforderliche Zeit, um eine Schifffahrtsſchleuſe oder einen Teich zu entleeren.

87. Sind die obern Schleuſenthore geſchloſſen und iſt kein Zufluß vorhanden, ſo gibt folgende Formel die Zeit, welche erfordert wird, um eine Schleuſenkammer bis zu einem beſtimmten Niveau zu entleeren. Dabei iſt vorausgeſetzt, daß das Waſſer in die freie Luft ausfließt.

$$t = \frac{0,451\ A}{m\ a}\left(\sqrt{H} - \sqrt{h}\right).$$

Hier bedeutet

t die geſuchte Dauer der Senkung des Niveaus in Sekunden,

A die konſtante Größe der Oberfläche des Waſſers in der Schleuſenkammer,

a die Größe der Ausflußöffnung,

m den Contraktionscoefficienten, bei Schleuſen gewöhnlich gleich 0,625.

H und h die Höhen der Waſſerſtände im Anfange und am Ende der Beobachtung.

Beiſpiel.

In welcher Zeit entleert ſich eine Schleuſenkammer, für welche man folgende Daten hat:

$$A = 220^{mq},\quad H = 1^{m},20,\quad h = 0^{m},30,\quad a = 1^{mq},20.$$

Die vorſtehende Regel gibt

$$t = \frac{0,451 \times 220}{0,625 \times 1,2}\left(\sqrt{1,20} - \sqrt{0,30}\right) = 72'',5 = 1'12'',5.$$

Ein Teich hat Zufluß während ſeiner Entleerung.

88. Fließt Waſſer in das Baſſin, während ſich dieſes entleert, und iſt

Q die Größe dieses Zuflusses in 1″, so ist bei den vorhergehenden Bezeichnungen

$$t = \frac{0{,}451\,A}{ma}(\sqrt{H} - \sqrt{h}) + \frac{0{,}235\,A\,Q}{m^2 a^2} \log \frac{ma\sqrt{2gH} - Q}{ma\sqrt{2gh} - Q}$$

Beispiel.

In welcher Zeit entleert sich ein Teich von 10 Hektaren oder 100000^{mq} Oberfläche durch eine Oeffnung von 1^{m},30 Weite und 0^{m},60 Höhe, wenn die Druckhöhe über dem Mittel dieser Oeffnung im Anfang 2^{m} und beim Schlusse 0^{m},40 ist, und wenn in der Sekunde 0^{mc},100 Wasser zufließt?

Ohne Zufluß wäre die Zeit der Entleerung

$$\frac{0{,}451 \times 100000}{0{,}60 \times 1{,}3 \times 0{,}6}(\sqrt{2} - \sqrt{0{,}4}) = 75335'' = 20^h 55' 35''.$$

Das zweite Glied, oder die Vermehrung der Dauer wegen des Zuflusses ist

$$\frac{0{,}235.100000.0{,}100}{(0{,}60.1{,}30.0{,}60)^2} \log \frac{0{,}60.1{,}30.0{,}60\sqrt{19{,}62.2} - 0{,}100}{0{,}60.1{,}30.0{,}60\sqrt{19{,}62.0{,}4} - 0{,}100} = 3962.$$

Die Dauer der Entleerung ist daher 22^{h}1′37″.

Bemerkung über die Wirkung des Zuflusses.

89. Gewöhnlich sind die Zuflüsse bei Teichen so schwach, daß man die durch sie hervorgebrachte Verlängerung der Entleerung vernachlässigen kann.

Dauer der Entleerung durch einen Ueberfall.

90. Die Spühlschleusen entleeren sich häufig durch Ueberfälle. Ist hierbei der Zufluß nur unbedeutend, so hat man für die Zeit der Entleerung

$$t = \frac{1{,}114\,A}{L} \cdot \frac{\sqrt{H} - \sqrt{h}}{\sqrt{Hh}}$$

wobei

A die konstante oder mittlere Oberfläche des Behälters bedeutet,
L die Weite des Ueberfalls,
H und h die Höhen des Niveaus über dem Fachbaume des Ueberfalls im Anfange und beim Ende des Abflusses.

Anmerkung. Bei Anwendung dieser Formel darf man h am Ende der Entleerung nie = 0 setzen; setzt man h wenigstens = $0^m,05$, so erhält man die Zeit der Senkung des Wasserspiegels bis beinahe zum Fachbaum herab.

Beispiel.

In welcher Zeit entleert sich eine Spühlschleuse bei folgenden Daten:

$$A = 28000^{mq},\ H = 1^m,50,\ h = 0^m,10,\ L = 12^m.$$

Die Formel gibt

$$t = \frac{1,114 \times 28000}{12} \cdot \frac{\sqrt{1,50} - \sqrt{0,10}}{\sqrt{1,5 \times 0,1}} = 6097 = 1^h 40' 37''.$$

Es steht das Wasser zuerst über den obern Rand der Oeffnung und sinkt dann unter diesen herab.

91. Steht das Wasser zuerst über den obern Rand der Oeffnung, und sinkt es nach und nach unter diesen herab, so berechnet man zuerst die Zeit des Ausflusses vom Beginn bis die Oeffnung ein Ueberfall wird, und dann die Dauer der Senkung des Wasserspiegels von diesem Zeitpunkte an, bis sie ihre untere Grenze erreicht hat.

Bemerkung hinsichtlich des Bassins, bei denen die Größe des Wasserspiegels veränderlich ist.

92. Aendert sich die Größe des Wasserspiegels während der Entleerung, so theilt man die ganze Höhe der Senkung desselben in mehrere Theile, so daß man für jeden solchen Theil die Größe des Wasserspiegels als konstant annehmen kann, und berechnet nun nach und nach die Zeit der Senkung von einer Höhe zur andern, und addirt endlich alle diese einzelnen Zeiten zusammen.

Verfahren bei beabsichtigter Entleeruug eines Teiches.

93. Sollen Teiche entleert werden, so muß man die Ausflußöffnungen so bestimmen, daß das Ausströmen möglichst bald vollendet ist, und doch die tiefer liegenden Orte vor Ueberschwemmung gesichert sind.

Man verfährt hierbei, wie folgt:

Nachdem man das Nivellement, die Länge und das mittlere Profil des Abführungskanals oder des Baches aufgenommen hat, berechnet man nach den Regeln und Formeln in Nr. 33 und weiter die Wassermenge, welche der bis oben volle Kanal ableiten kann.

Nun nimmt man die Breite der Ausflußöffnung nahe zu der des Kanals gleich an, wenn diese Dimension nicht zu groß wird, legt die Sohle der Oeffnung ungefähr in die Höhe des Kanalbodens und des Grabens im Teich, theilt die ganze Höhe, um welche das Niveau sich senken soll, in gleiche Theile von $0^m,10$ bis $0^m,20$ Größe bei sehr großen Teichen und von $0^m,30$ bis $0^m,50$ ungefähr bei kleinen, und bestimmt für jeden dieser Theile die mittlere Größe des Wasserspiegels.

Nun hat man

$$E = \frac{Q}{mL\sqrt{2gH}}$$

wo die Bezeichnungen dieselben sind wie in Nr. 13.

Hiermit berechnet man annähernd, wie weit die Schütze für den größten Wasserstand bei jeder einzelnen Schichte geöffnet werden muß, damit die in 1″ ausfließende Wassermenge der gleich sey, welche der Kanal abführen kann.

Das durch die so aufgezogene Schütze fließende Wasser wird immer etwas weniger seyn, als der Kanal aufnehmen kann.

Nach Nr. 87 und 89 berechnet man die Dauer der Entleerung, und ist diese größer, als durch die Umstände erlaubt ist, so muß man den Ableitungskanal erweitern.

Beispiel.

Der Ableitungskanal bei einem Teiche von 200 Hektaren Oberfläche hat eine Weite von $2^m,20$ und mittlere Tiefe von 1^m. Das Gefälle des Betts beträgt 2^m auf 1800^m Länge oder $0^m,0011$ auf den Meter.

Die Formel in Nr. 33 gibt die mittlere Geschwindigkeit des Wassers

$$U = -0,072 + 56,86\sqrt{\frac{2,20\times1\times2}{4,20\times1800}} = 1^m,288$$

und für die Wassermenge, welche in 1″ abfließen kann

$$Q = 2{,}20 \times 1{,}288 = 2^{mc},83.$$

Bei der Anordnung der Ausflußöffnung kann $m = 0{,}62$ gesetzt werden. Theilt man nun das Wasser in dem Teich in Schichten von $0^m,15$ Dicke und rechnet man die Höhen der Schützöffnungen nach der vorstehenden Regel für jede einzelne Schichte, so erhält man

Höhen des Niveaus über der Sohle der Oeffnung.		Größen der mittlern Oberflächen.	Erhebung der Schütze oder Höhe der Ausflußöffnung.	Druckhöhen über dem Mittel der Ausflußöffnung.		Dauer der Entleerung der einzelnen Schichten.	
				H	h	In Sekunden.	In Tagen.
m	m	mq	m	m	m	″	
3.10	bis 2.95	2000000	0.531	2.835	2.685	64000	0.741
2.95	″ 2.80	2000000	0.544	2.678	2.528	65500	0.755
2.80	″ 2.65	2000000	0.558	2.521	2.371	67800	0.785
2.65	″ 2.50	2000000	0.573	2.364	2.214	72700	0.842
2.50	″ 2.35	2000000	0.590	2.205	2.055	75700	0.876
2.35	″ 2.20	2000000	0.609	2.046	1.896	78700	0.911
2.20	″ 2.05	2000000	0.630	1.885	1.735	81500	0.941
2.05	″ 1.90	1995000	0.652	1.724	1.574	85700	0.992
1.90	″ 1.75	1990000	0.672	1.564	1.414	88200	1.021
1.75	″ 1.60	1985000	0.707	1.397	1.247	93900	1.087
1.60	″ 1.45	1980000	0.739	1.231	1.081	99400	1.150
1.45	″ 1.30	1972000	0.775	1.063	0.913	107700	1.248
1.30	″ 1.15	1964000	0.822	0.889	0.739	117000	1.355
1.15	″ 1.10	1960000	0.872	0.714	0.560	41300	0.479

Dauer der Senkung des Wasserspiegels von $3^m,10$ bis $1^m,10$ über der Sohle . . . . . 13,173 Tage.

Hat das Niveau die Höhe $1^m,10$ über dem Fachbaum erreicht, so wird die Ausflußöffnung ein Ueberfall. Berechnet man nun nach der Formel in Nr. 61 die Dauer des Ausflusses für Schichten von $0^m,15$ Dicke bis zur Höhe von $0^m,35$ über dem Fachbaum, was ungefähr dem Boden der Cünette entspricht, und wo man den Teich als leer ansehen kann, so hat man

Druckhöhen über der Sohle des Ueberfalls welche entsprechen dem obern H	dem untern h	Mittlere Größe des Wasserspiegels.	Dauer der Entleerung einer Schichte. In Sekunden.	In Tagen.
m	m	mq	"	
1.10	bis 0.95	1900000	136000	1.572
0.95	" 0.80	1400000	129500	1.520
0.80	" 0.65	900000	112800	1.309
0.65	" 0.50	400000	70500	0.817
0.50	" 0.35	15000	41700	0.525

Dauer der Senkung des Wasserspiegels von $1^m,10$ bis $0^m,35$ über der Sohle 5,743

Die ganze Dauer der Entleerung dieses Teiches ist also gleich

$$13,173 + 5,743 = 18,916 \text{ Tagen.}$$

Dieß Beispiel bezieht sich auf die Entleerung eines Teiches, deren Dauer durch Beschluß des königlichen Gerichtshofes zu Colmar auf drei Wochen, in Folge eines langen und kostspieligen Prozesses, festgesetzt war, den man hätte vermeiden können, wenn man gleich von Anfang das hier befolgte Verfahren eingeschlagen hätte.

Größe der Senkung des Wasserspiegels in einer gegebenen Zeit.

94. Will man die Senkung des Wasserspiegels berechnen, welche in einer bestimmten Zeit, bei einem prismatischen Bassin erfolgt, wenn kein Zufluß vorhanden ist, so kann dieß für oben geschlossene Oeffnungen nach der Formel

$$H - h = \frac{t\,m\,a}{A}\sqrt{2\,g\,H} - 4{,}904\,\frac{t^2\,m^2\,a^2}{A^2}$$

geschehen, wo alle Bezeichnungen aus Nr. 87 bekannt sind.

Beispiel.

Um wie viel senkt sich der Wasserspiegel in einer prismatischen Schleusenkammer von 250^{mq} Querschnitt in 2′ oder 120″, wenn das Wasser durch zwei Oeffnungen von $0^{mq},30$ Größe, bei einer

ursprünglichen Druckhöhe von $1^m,80$ über dem Mittel der Oeffnungen ausfließt?

Der Coefficient m ist 0,625. Man hat daher

$$\frac{t\,m\,a}{A} = \frac{120 \times 0{,}625 \times 2 \times 0{,}30}{250} = 0{,}180,$$

und die Formel gibt

$$H - h = 0{,}180 \times 5{,}95 - (0{,}180)^2 \times 4{,}904 = 0^m,912.$$

Ueberfälle.

95. Bei Ueberfällen berechnet man die Senkung des Wasserspiegels in einer gegebenen Zeit nach der Formel

$$H - h = H\left\{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{t \,.\, 0{,}202\, L \sqrt{2\,g\,H}}{A}\right)^2}\right\}$$

in welcher die Bezeichnungen der Nr. 90 gebraucht sind.

Beispiel.

Wie weit senkt sich der Wasserspiegel in 1 Stunde oder 3600″, wenn die Oberfläche 250000^{mq} hat, und der Ausfluß durch einen Ueberfall von 12^m Weite bei einer anfänglichen Druckhöhe von $1^m,80$ statt findet?

Die Formel gibt

$$H - h = 1^m,80\left\{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{3600 \,.\, 0{,}202 \,.\, 12\sqrt{19{,}62 \,.\, 1{,}80}}{250000}\right)^2}\right\} = 0^m,563.$$

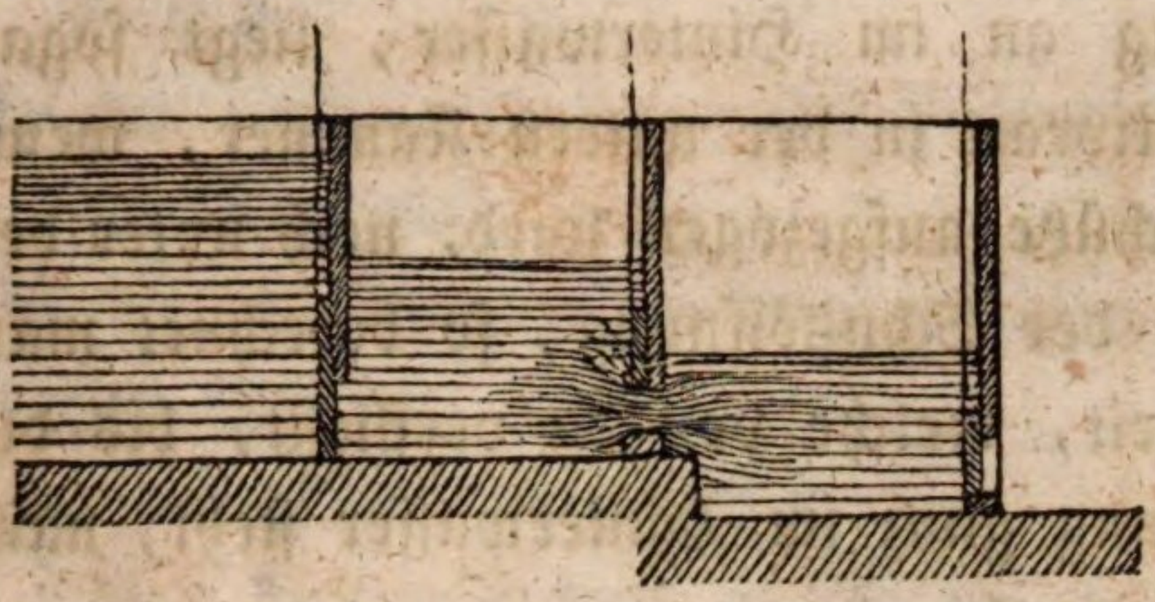
Bemerkung hinsichtlich der Bassins, deren horizontale Querschnitte nicht gleich groß sind.

96. Aendert sich die Größe des Wasserspiegels während des Ausflusses merklich, so muß man dessen Dauer in eine hinreichende Zahl kleinerer Zeiträume theilen, für welche einzeln man die Größen des Wasserspiegels als konstant ansehen kann.

Erforderliche Zeit zur Füllung einer Schleusenkammer; doppelte Schifffahrtsschleusen.

97. Bei den doppelten Schifffahrtsschleusen entleert sich die

Fig. 17.



obere in die untere Kammer, ohne daß Zufluß vorhanden wäre. Dabei berechnet man die Zeit, welche vergeht, bis in beiden Bassins das Wasser gleich hoch steht, nach folgenden Regeln:

98. Ist die Schützenöffnung von Anfang an unter Wasser, und bedeuten:

A und A^1 die konstanten Flächenräume der obern und untern Kammer,

H^1 und h^1 die Niveauhöhen über dem Mittel der Ausfluß-öffnung im Ober- und Unterwasser,

a die Größe der Oeffnung oder beider Oeffnungen zusammen, wenn zwei vorhanden sind,

m den Contraktionscoefficienten (Nr. 12 und weiter);

so hat man die Zeit, nach welcher beide Wasserspiegel in eine Ebene fallen

$$t = \frac{0{,}451\ A\ A^1}{m\ a\ (A + A^1)} \sqrt{H^1 - h^1}$$

Beispiel.

Für die doppelte Bayardschleuse in Toulouse ist folgendes gegeben:

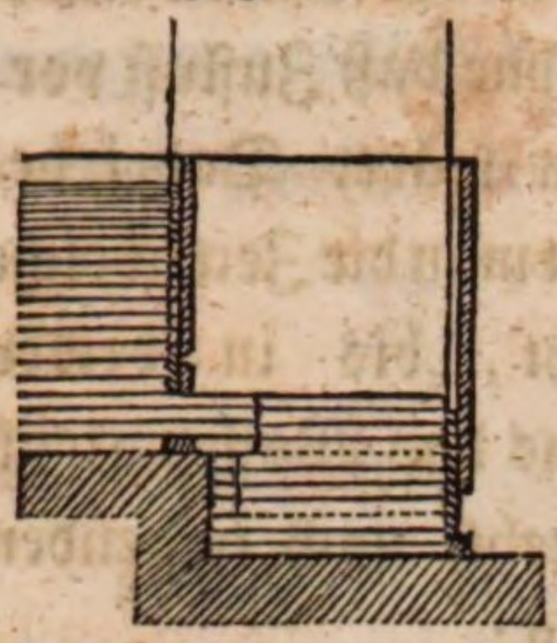
$A = 205^{mq}$, $A^1 = 215^{mq}$, $a = 1^{mq},249$, $m = 0{,}625$, $H^1 = 4^m,14$, $h = 0^m,24$.

Die Formel gibt

$$t = \frac{0{,}451 \times 205 \times 215}{0{,}625 \times 1{,}249\ (205 + 215)} \times \sqrt{4{,}14 - 0{,}24} = 120'' = 2'.$$

Die direkte Beobachtung gab 2′ 29″; die Differenz rührt von der Zeit her, die man braucht, die Schützen aufzuziehen. (D'Aubuisson traité d'hydraulique, Seite 99.)

Fig. 18.



99. Steht die Schutzöffnung nicht von Anfang an im Hinterwasser, liegt sogar das Niveau in der untern Kammer, wenn die Schütze aufgezogen wird, noch unter der Sohle der Schutzöffnung, so berechnet man die Zeit, welche von da verfließt, bis die Oeffnung ganz im Hinterwasser steht, nach der Formel

$$t = \frac{0{,}451\sqrt{A}}{m\,a}\left[\sqrt{A\,H^1} - \sqrt{A\,H^1 - A^1(h^1 + h)}\right]$$

worin A, A^1, H^1, m und a dasselbe bedeuten was bisher, h^1 aber die Tiefe des Wasserspiegels in der untern Kammer unter dem Fachbaum der Schütze,
h die halbe Höhe der Schützenöffnung.

Die Zeit, welche nun noch zur vollständigen Füllung der untern Kammer erfordert wird, rechnet man nach Nr. 98.

Beispiel.

In wie viel Zeit hebt sich bei der Bayardschleuse der untere Wasserspiegel von $0^m,30$ unter der Mitte der Schützenöffnung bis zum obern Rande der Schütze?

Die Höhe der Schützenöffnung ist $0^m,70$ und daher $h + h^1 = 0^m,65$.

Die Formel gibt

$$t = \frac{0{,}451\sqrt{205}}{625 \times 1{,}249}\left(\sqrt{205 \times 4{,}14} - \sqrt{205 \times 4{,}14 - 215 \times 0{,}65}\right) = 21''.$$

Erforderliche Zeit zur Füllung einer Schleusenkammer aus einem Reservoir mit gleichbleibendem Niveau.

100. Bleibt das füllende Reservoir in gleicher Höhe voll Wasser, und ist die Oeffnung im Anfang nicht untergetaucht, so berechnet man die erforderliche Zeit der Füllung der Schleusenkammer bis zur Mitte der Ausflußöffnung nach der Formel

$$t = \frac{A\,h^1}{m\,a\sqrt{2\,g\,H}},$$

wo **A** die Größe des Wasserspiegels in der Schleusenkammer bedeutet,

h' die anfängliche Tiefe des Niveaus in dieser unter der Mitte der Schützenöffnung,

H die konstante Höhe des Wasserstandes im Reservoir über dieser Mitte,

m, **a** dasselbe, was bisher.

Nun berechnet man weiter die Zeit, welche man noch braucht, um die Schleusenkammer bis zur Höhe des Wassers im Reservoir zu füllen, nach der Formel:

$$t = \frac{0{,}451\ A}{m\ a} \sqrt{H}$$

Beispiel.

In welcher Zeit füllt sich eine Schleusenkammer, in der das Niveau zuerst in der Höhe des Fachbaums der Schütze, die auf $0^m{,}65$ aufgezogen ist, liegt, wenn dieses sich bis zu $2^m{,}25$, der konstanten Höhe des Oberwassers über der Mitte der Schützöffnung, heben soll?

Es sei

$$A = 325^{mq}, a = 1^{mq}{,}258,\ m = 0{,}625.$$

Man hat zuerst die Zeit, in der das Wasser bis zur Mitte der Schützöffnung steigt,

$$t = \frac{325 \times 0{,}325}{0{,}625 \times 1{,}258 \sqrt{19{,}62 \times 2{,}25}} = 20'',$$

und die Zeit von da bis beide Niveaus gleich hoch stehen,

$$t = \frac{0{,}451 \,.\, 325}{0{,}625 \times 1{,}258} \sqrt{2{,}25} = 279'';$$

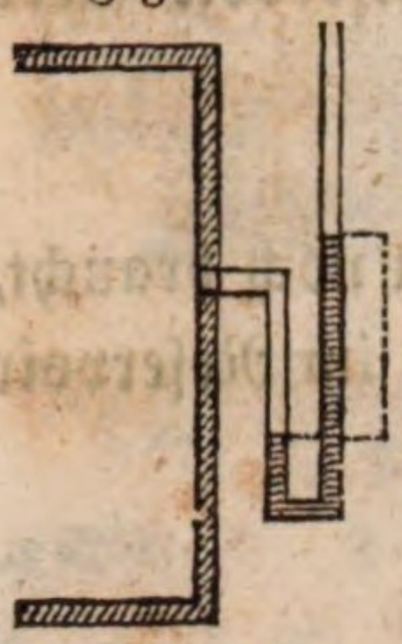
die ganze Dauer der Füllung ist daher

$$20 + 279 = 299'' = 4'\ 59''.$$

Bewegung und Ausfluß der Gase.

Maß der Spannung der Gase und Dämpfe.

Fig. 19.



101. Um das Gasvolum zu berechnen, das durch eine gegebene Oeffnung ausströmt, muß man die Spannung dieses Gases kennen. Dazu wendet man eine Röhre, in Form eines umgekehrten Hebers gebogen (Fig. 19), an, in welche man bei schwachem Druck Wasser, bei stärkerem Quecksilber gießt.

Nennt man nun

P den Druck des Gases in dem Gefäße, an welchem das Manometer angebracht ist, auf ein Quadratcentimeter,

p den Druck der äußern Luft auf ein Quadratcentimeter,

h die Höhe der Flüssigkeitssäule, welche den Unterschied dieser Pressungen mißt, in Metern,

so hat man

$$P - p = 0^{kil.},1\ h, \text{ bei Wasser, und}$$

$$P - p = 1^{kil.},3598\ h \text{ bei Quecksilber.}$$

Der atmosphärische Druck ist im Mittel gleich dem einer Quecksilbersäule von $0^{m},76$ Höhe und daher gleich

$$1,3598 \times 0,76 = 1^{kil.},0333 \text{ für den Quadratcentimeter.}$$

Den Druck im Innern des Behälters hat man nun

$$P = 1^{kil.},0333 + 0^{kil.},1\ h \text{ bei Wasser und}$$

$$P = 1^{kil.},0333 + (1^{kil.},3598)\ h \text{ bei Quecksilber.}$$

Beispiel.

Wie groß ist der Druck der Luft bei einem Gebläse, wenn das Quecksilbermanometer eine Niveaudifferenz von $0^{m},06$ zeigt?

Der innere Druck auf ein Quadratcentimeter ist

$$P = 1^{kil.},0333 + 1^{kil.},3598 \times 0,06 = 1^{kil.},1149.$$

Der Ueberschuß des innern Drucks über den äußern aber

$$0^{kil},0816.$$

Werthe der Spannungen in Atmosphären.

102. Es ist gebräuchlich, die Spannungen der Gase und noch

mehr, die der Dämpfe, mit dem Drucke der Atmosphäre zu vergleichen, welche man dann als Einheit annimmt.

Theilt man den Werth des Dampfdruckes in Kilogrammen, wie man ihn durch die obige Formel erhält, durch 1,0333 oder die Höhe der Queckſilberſäule, welche die Spannung mißt, durch 0,76, ſo gibt beidemal der Quotient den Druck in Atmosphären.

Beiſpiel.

Die Spannung des Dampfes in einem Keſſel iſt durch die Queckſilberſäule von $1^m,90$ gemeſſen; der Ueberſchuß ſeines Druckes über den der Atmosphäre iſt daher

$$\frac{1,90}{0,76} = 2,5 \text{ Atmosphären,}$$

und der Druck des Dampfes auf die Wände des Keſſels

$$= 2,5 + 1 = 3,5 \text{ Atmosphären.}$$

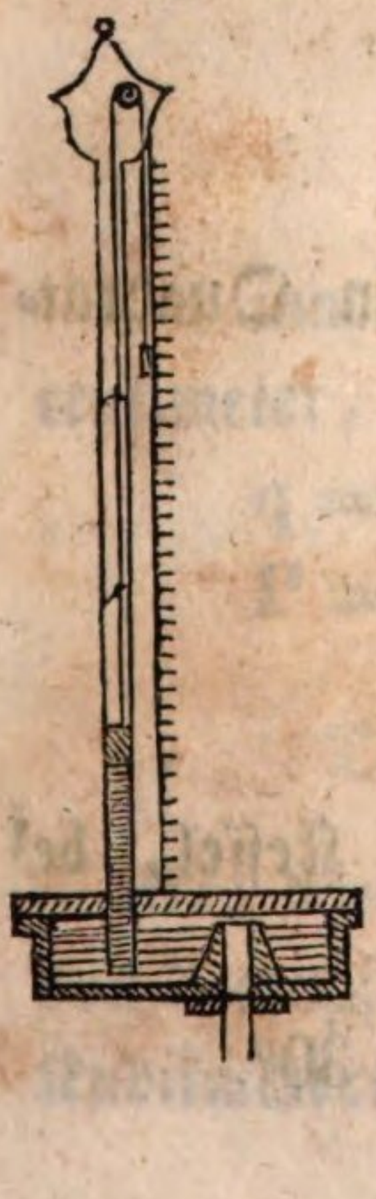
Druck auf eine gegebene Oberfläche.

103. Kennt man den Druck des Gaſes auf ein Quadratcentimeter, ſo hat man dieſen nur mit der Zahl der Quadratcentimeter zu multipliciren, welche in der gegebenen Oberfläche enthalten ſind, um den vollſtändigen Druck auf dieſe zu haben.

So erhält man den Druck auf den Quadratmeter, wenn man den auf den Quadratcentimeter 10000mal nimmt.

Im Beiſpiel in Nr. 101 iſt der Ueberſchuß des innern Drucks über den äußern auf ein Quadratmeter $= 10000 \times 0^{kil},0816$ $= 816$ Kilogramm.

Fig. 20.



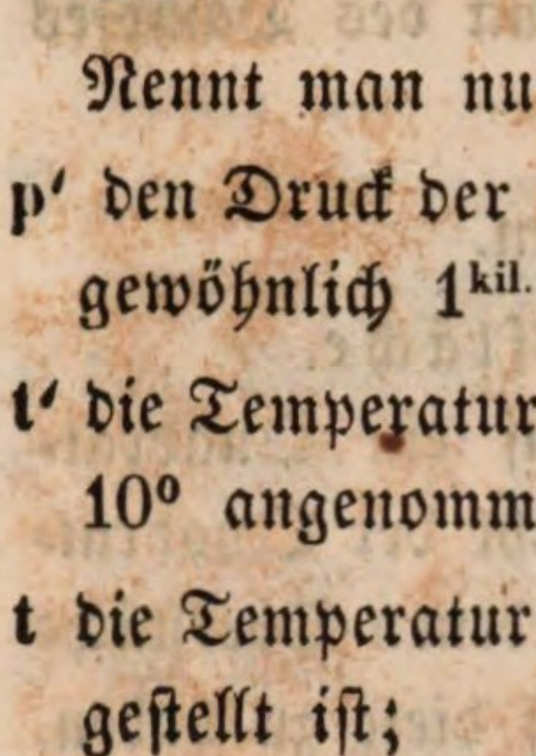
Gefäßmanometer.

104. Oft braucht man bei Dampfkeſſeln, um die Spannung der Dämpfe zu meſſen, Manometer, bei welchen das Queckſilber ſich in einer langen eiſernen Röhre (Fig. 20) mehrere Meter hoch erheben kann, womit ſich dann Preſſungen von mehreren Atmosphären beſtimmen laſſen. Ein Schwimmer hängt an einem Faden, der über eine Rolle geht und an deſſen anderm Ende ein Zeiger hängt, welcher an einem Maßſtab die Höhe des Queckſilbers und damit die Spannung des Dampfes angibt.

Manometer für hohen Druck.

105. Das gewöhnlich bei Dampfmaschinen gebrauchte Manometer besteht bekanntlich in einer oben geschlossenen Röhre, welche unten in ein Gefäß, das Quecksilber enthält, getaucht ist (Fig. 21).

Fig. 21.



Das Instrument ist gewöhnlich so eingerichtet, daß bei 10° Temperatur und dem mittlern atmosphärischen Drucke die Quecksilbersäule in der Röhre mit dem Quecksilber in dem Gefäß im Niveau besteht.

Nennt man nun

p' den Druck der Luft, bei dem das Instrument eingetheilt wurde, gewöhnlich $1^{kil.},0333$;

t' die Temperatur zur nämlichen Zeit; sie kann gewöhnlich gleich 10° angenommen werden;

t die Temperatur in der Kammer, in der das Manometer aufgestellt ist;

h' die Höhe, welche die Luft bei der Beobachtung in der Röhre einnimmt;

h die Höhe, auf welche das Quecksilber in der Röhre über das Niveau in dem Gefäße gestiegen ist;

x die Pressung der in der Röhre comprimirten Luft; dann hat man zuerst

$$x = \frac{h + h'}{h'} \cdot \frac{1 + 0{,}003665\, t}{1 + 0{,}003665\, t'} \cdot p',$$

und den Druck P des Gases oder Dampfes auf ein Quadratcentimeter

$$P = x + 1^{kil.},3598\ h.$$

Beispiel.

Wie groß ist der Druck des Dampfes in einem Kessel, bei dem das Manometer folgende Anzeigen gibt?

$$h = 0^{m},16,\ h' = 0^{m},30,\ t' = 10^{o},t = 30^{o}.$$

Die erste Formel gibt

$$x = \frac{0{,}46}{0{,}30} \times \frac{1 + 0{,}10995}{1 + 0{,}03665} \times 1{,}033 = 1^{kil},413$$

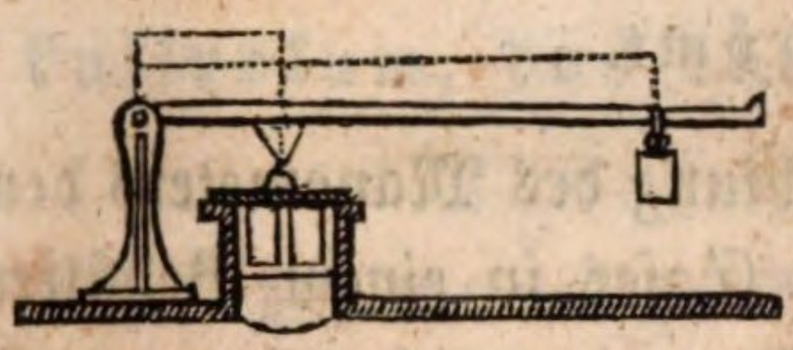
und die zweite

$$P = 1{,}413 + 1{,}3598 \times 0{,}16 = 1^{kil},630.$$

Bestimmung des Dampfdrucks mit Hilfe der Sicherheitsventile.

106. Hat man kein Manometer, so kann man durch Beobachtung der Sicherheitsventile im Augenblicke, wo der Druck des Dampfes und das Läufergewicht am Hebel an ihnen im Gleichgewichte sind, den Dampfdruck bestimmen; das Mittel ist aber ungenau.

Fig. 22.



Nennt man

q das Gewicht des Läufers am Hebel,

o die innere Oberfläche des Ventils in Quadratcentimetern,

l die horizontale Entfernung des Mittelpunkts des Dampfdrucks auf das Ventil von dem Mittelpunkte der Axe des Hebels,

L die analoge Entfernung für das Laufgewicht,

$p = 1^{kil},0333$ oder den Druck einer Atmosphäre,

so hat man den Dampfdruck in dem Kessel auf 1 Quadratcentimeter

$$P = p + \frac{qL}{ol}.$$

Beispiel.

Die innere Fläche eines Sicherheitsventils sey 12 Quadratcentimeter, und

$q = 6^{kil}$, $L = 0^{m},45$, $l = 0^{m},08$, so hat man

$P = 1{,}033 + 2{,}812 = 3^{kil},845.$

Dichte der Luft und des Dampfes.

107. Aus der Pressung und der Temperatur eines Gases oder von Dampf läßt sich leicht dessen Dichte oder das Gewicht eines Kubikmeters desselben ableiten. Man hat

für atmosphärische Luft $d = \frac{1{,}2572\,P}{1 + 0{,}003665\,t}$,

und für Wasserdampf $d = \frac{0{,}7827\,P}{1 + 0{,}00368\,t}$,

Dabei ist **d** das Gewicht eines Kubikmeters.

Beispiel.

Welches ist die Dichte der Luft bei der Temperatur 10° und dem Drucke $P = 1^{kil},115$?

Die Formel gibt $d = 1^{kil},352$.

Mittlere Geschwindigkeit mit der Gas oder Dampf ausströmt.

108. Kennt man durch die Beobachtung des Manometers den Ueberschuß $P - p$ des Druckes eines Gases in einem Behälter über den Druck in einem andern Behälter, in welchen jenes ausströmt, oder über den Druck der Atmosphäre, wenn der Ausfluß in freie Luft statt hat, so erhält man die Ausflußgeschwindigkeit nach der Formel:

$$V = \left(1 \mp \frac{P-p}{4p}\right) \sqrt{2g\frac{P-p}{d}} \quad *)$$

worin

$g = 9^{m},8088$,

P der innere Druck
p der äußere Druck } auf 1 Quadratmeter,

d das Gewicht eines Kubikmeters des Gases (Nr. 107) ist.

Bedient man sich des Queckſilbermanometers, so kann man diese Formel durch folgende ersetzen

$$V = 516\left(1 \mp \frac{h}{4b}\right)\sqrt{\frac{h}{d}},$$

wo **b** der äußere Barometerstand ist, oder für die gewöhnlichen Fälle

$$V = 516\,(1 \mp {}^1/_3\,h)\sqrt{\frac{h}{d}}.$$

---

*) Vergl. Weisbach, über die Ausflußcoefficienten ꝛc. Poggendorf, Ann. LI. S. 449.

Anmerkung. Diese Regel ist nur anwendbar, wenn der innere Druck den äußern nicht mehr als um $^1/_4$ oder $^1/_5$ überschreitet, wie dieß gewöhnlich der Fall ist.

Beispiel.

Mit welcher Geschwindigkeit strömt die Luft aus einer Leitung, in welcher der innere Druck den äußern um $0^m,06$ Queckfilberdruckhöhe überschreitet, bei der Temperatur 10°?

Man findet zuerst nach der Regel in Nr. 107 $d = 1^{kil},352$ und obige Formel gibt dann

$$V = 111^m,1.$$

Luftvolum, das durch eine gegebene Oeffnung ausströmt.

109. Die theoretische Ausflußmenge, oder das Volum Luft, welches ausströmen würde, wenn keine Contraktion statt fände, erhält man nach der Formel:

$$Q = A\,V,$$

in welcher bedeutet:

A die Größe der Ausflußöffnung in Quadratmetern,
V die Geschwindigkeit in Metern.

Um die effektive Ausflußmenge zu erhalten, muß man die theoretische multipliziren, mit

0,61 bei völliger Contraktion,
0,76 wenn die Oeffnung mit einer cylindrischen Ansatzröhre versehen ist,
0,90 wenn die Oeffnung das Ende einer conischen Düse ist, welche sich rückwärts bis zur Weite der Leitung vergrößert, wie dieß gewöhnlich der Fall ist.

Beispiel.

Wie viel Luft strömt durch die Düse eines Gebläses für einen Eisenhochofen, wenn der Durchmesser der Düse $0^m,043$ beträgt, die Pressung des Windes gleich 0^m06 Queckfilberhöhe und die Temperatur 10° ist?

Die Formel in Nr. 108 gibt die Ausflußgeschwindigkeit

$$V = 111^m,1 \text{ in } 1''.$$

Die Luftmenge in 1 Sekunde ist daher

$$Q = 0{,}90 \times 0{,}00091 \times 111{,}1 = 0^{mc},091.$$

Fall, in dem man die Pressung weit von der Düse entfernt beobachtet hat.

110. Hat man die Pressung an einem weit von der Ausflußöffnung weggelegenen Punkte beobachtet, so daß man die Widerstände der Wände nicht vernachlässigen kann, so gibt folgende Formel die Geschwindigkeit in der Ausflußöffnung, unter der Voraussetzung, daß in der Leitung keine Verengerung vorkomme.

$$516\,(1 + {}^1/_3\,h)\sqrt{\frac{h}{d\left(1 + \frac{0{,}0252\,L\,m^2\,D'^4}{D^5}\right)}}$$

in welcher

h die am Manometer beobachtete Höhe der Queckſilberſäule ist, die den Ueberschuß des innern Drucks über den äußern mißt,

d das Gewicht eines Kubikmeters der Luft von der innern Pressung,

L die Länge der Leitung in Metern,

D den Durchmesser der Leitung in Metern,

D' den Durchmesser der Ausflußöffnung in Metern,

m den Contraktionscoefficienten für diese Oeffnung (Nr. 109) bedeutet.

Beispiel.

Welche Luftmenge fließt durch eine Oeffnung von $0^m,06$ Durchmesser am Ende einer Leitung von $0^m,25$ Durchmesser und 100^m Länge, wenn die Pressung des Windes im Anfange der Leitung durch die Höhe einer Queckſilberſäule von $0^m,06$ Höhe angegeben ist?

Die Formel gibt

$$V = 516(1 + {}^1/_3 h)\sqrt{\frac{0{,}06}{1{,}352\left(1 + \frac{0{,}0252.100.(0{,}90)^2.(0.06)^4}{(0{,}25)^5}\right)}} = 109^m,2.$$

Die Ausflußmenge in 1″ ergibt sich nun nach Nr. 109:

$$0{,}90 \times 0{,}7854 \times (0{,}06)^2 \times 109{,}2 = 0^{mc},277.$$

Anmerkung.

112. Ist das Manometer an einem Reservoir angebracht, so gibt die Formel der vorhergehenden Nummer noch immer genau genug die Geschwindigkeit der ausströmenden Luft.

Bemerkungen über die Errichtung von Gasleitungen.

113. Die vorstehenden Formeln zeigen, was man bei Aufstellung von Gasleitungen zu befolgen hat. Man soll:

1) Den Leitungen möglichst große Durchmesser geben. Für die Hauptleitungen ist passend

$$D = 0^m,30 \text{ bis } 0^m,40$$

und für die Nebenleitungen

$$D = 0^m,20 \text{ bis } 0^m,25.$$

2) Die ganze Länge der Leitungen möglichst klein nehmen.

3) Alle Verengerungen und Einbiegungen in den Leitungen vermeiden.

4) Alle Uebergänge, seyen sie beim Anfange der Leitung oder bei den Hahnen zur Vertheilung, so anzuordnen, daß die Contraktion möglichst gering wird.

5) Unnöthige Aenderungen in der Richtung der Leitung vermeiden, und bei unvermeidlichen die Biegungen rund machen.

Von der Kraft des strömenden Wassers.

114. Das ganze Gefälle des Wassers bei einer Anlage nennt man die Höhe des Wasserspiegels im obern Reservoir über dem Wasserspiegel im dem Ableitungskanal.

Die Kraft eines Wasserlaufs, oder die Größe der absoluten Arbeit, welche er liefert, ist das Produkt aus dem Gewichte seiner Wassermenge in das ganze Gefälle.

Nennt man nun immer

Q die Wassermenge in Kubikmetern,

H das ganze Gefälle in Metern,
so ist die absolute Arbeit oder die Kraft des Wasserlaufs gegeben durch

$$1000\,Q\,H^{km},$$

oder in Pferdekräften von 75^{km} ausgedrückt

$$N = \frac{1000\,Q\,H}{75},$$

wo **N** die Anzahl der Pferdekräfte bedeutet.

Beispiel.

Welches ist die absolute Kraft eines Wasserlaufs der $0^{mc},450$ in der Sekunde liefert und ein ganzes Gefälle von $5^{m},25$ hat?

Die absolute Kraft ist

$$1000 \times 0{,}450 \times 5{,}25 = 2362^{km},5$$

$$\text{oder} = \frac{2362{,}5}{75} = 31{,}5 \text{ Pferdekräften.}$$

Diese absolute Kraft des strömenden Wassers, welche seinen Kaufwerth bedingt, muß in der Jahrszeit bestimmt werden, wo die Wasser ihre mittlere Höhe haben.

Wasserräder.

Regeln zur Bestimmung des Nutzeffekts eines aufgestellten Rades.

Klassifikation der verschiedenen im Gebrauch stehenden Räder.

115. Die gewöhnlich im Gebrauch stehenden Räder theilen sich in folgende Klassen:

1) Unterschlächtige Räder in Gerinnen mit ebenen Schaufeln.

2) Kropfräder, bei denen nicht das ganze Gefälle zum Kropf verwendet ist.

3) Kropfräder mit Ueberfallsschützen.

4) Unterschlächtige Räder mit gekrümmten Schaufeln und geneigter Schütze, nach Poncelet.

5) Oberschlächtige, Zellenräder.
6) Räder in unbegrenztem Wasser; Schiffmühlräder.
7) Turbinen.

Angenommene Bezeichnungen.

116. Im Folgenden bezeichnen wir immer mit:

Q die Wassermenge in 1″, ausgedrückt in Kubikmetern.

V die Geschwindigkeit, mit der der mittlere Strahl auf dem Rade anlangt (Nr. 42 und Nr. 46).

v die Geschwindigkeit des äußern Radumfangs.

a den Winkel, den beide Geschwindigkeiten mit einander machen; dieser Winkel ist in der Regel leicht dadurch zu bestimmen, daß man an die Kurve, in welcher der mittlere Strahl zum Rad gelangt und an den Radumfang dort, wo beide Kurven sich treffen, Tangenten zieht.

P die mittlere Kraft, welche das Wasser auf den äußern Radumfang überträgt; es ist dieß das Gewicht, welches das Rad erheben könnte, wenn jenes an einer um diesen Umfang geschlagenen Schnur hinge.

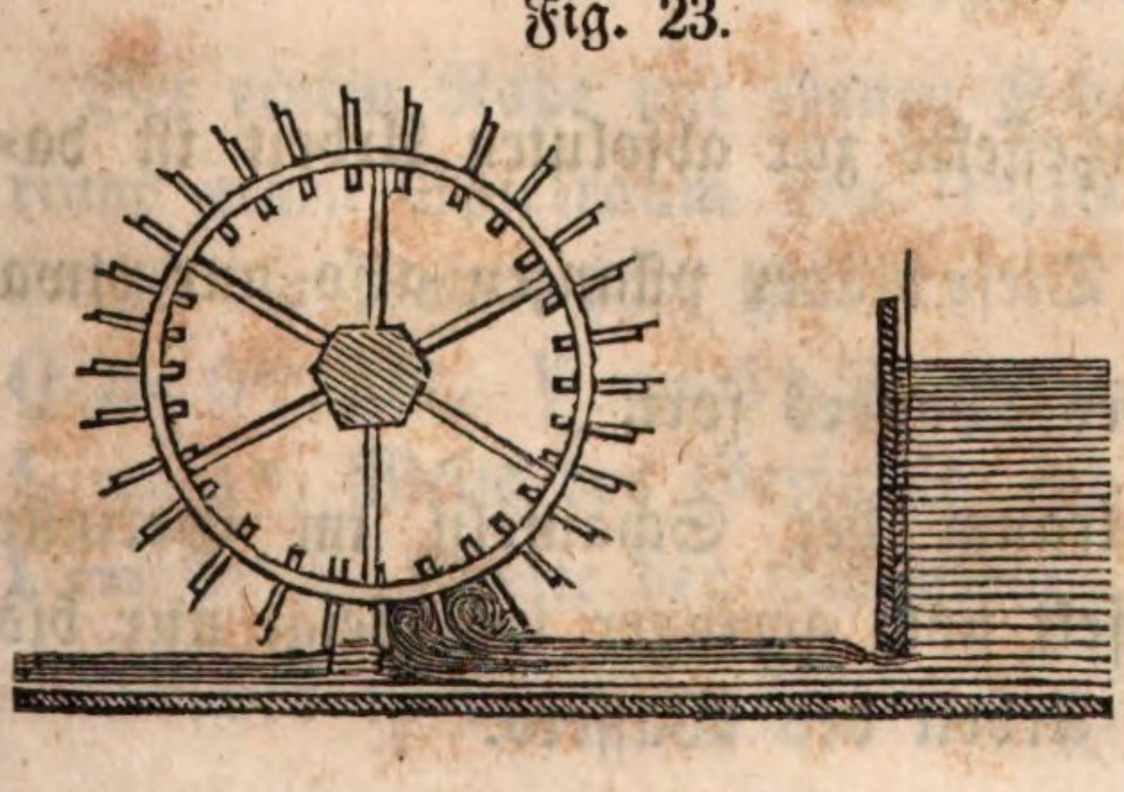
h die Höhe, um welche das Wasser von seinem Eintritt ins Rad bis zum tiefsten Punkte des Rades sinkt, also die Höhe des Eintrittspunktes über diesem tiefsten Punkte des Rades.

Nun ist das Produkt **P v** aus dem Gewicht, welches das Rad an seinem Umfang erheben könnte, in den Weg **v**, um den dieses in 1″ erhoben würde, der Nutzeffekt oder die auf den Umfang des Rades fortgepflanzte Arbeit.

Unterschlächtige Räder mit ebenen Schaufeln.

117. Diese Räder trifft man oft in alten Mühlen, wo sie in Gerinnen von Holz oder gehauenen Steinen gehen, in welchen ihre Schaufeln wenigstens einen Spielraum von $0^m,03$ bis $0^m,04$ haben. Die Schütze steht vertikal und ist oft sehr weit vom Rade entfernt.

Fig. 23.



Die Beobachtungen von Bossut und von Smeaton haben gezeigt, daß die vortheilhafteste Geschwindigkeit des Umfangs des Rades zwischen 0,33 und 0,50 der Geschwindigkeit des zuströmenden Wassers liegt, das erste bei großer Geschwindigkeit, das letzte bei großer Wassermenge.

Der Nutzeffekt oder die auf das Rad übertragene Arbeit ist durch folgende aus den Erfahrungen von Bossut und von Smeaton abgeleitete Formel gegeben

$$P\,v = 61\,Q\,(V - v)\,v^{km},$$

worin man die Geschwindigkeit **V** nach den Regeln in Nr. 42 und weiter bestimmt.

Beispiel.

Ein Rad dieser Konstruktion hat $0^{mc},500$ Wasser in der Sekunde, dieses kommt mit $4^{m},50$ Geschwindigkeit auf das Rad, die Geschwindigkeit des äußern Radumfangs ist $2^{m},50$; welches ist der Nutzeffekt dieses Rades?

Er ist

$$P\,v = 61 \times 0{,}500\,(4{,}50 - 2{,}50) \times 2{,}50 = 152^{km},5$$

oder ungefähr 2 Pferdekräfte.

Verhältniß des Nutzeffekts und der absoluten Arbeit des Wassers.

118. Wäre die Schütze nahe bei dem Rad, und hätten die Gerinnwände nur unbedeutenden Einfluß auf die Geschwindigkeit des Wassers, so würde das ganze Gefälle die zu $4^{m},50$ gehörige Geschwindigkeitshöhe oder ungefähr $1^{m},03$ (Nr. 3) seyn, und die absolute Arbeit des Wassers wäre daher

$$1000 \times 0{,}500 \times 1{,}03 = 515^{km}$$

oder 6,87 Pferdskräfte.

Das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit ist daher nur $\frac{152{,}5}{515} = 0{,}297$. Diese Räder pflanzen also nur etwa 0,3 der absoluten Arbeit des Wassers fort.

Ueberschreitet der Spielraum der Schaufeln im Gerinne $0^{m},04$, so wird der Nutzeffekt noch geringer und steigt nur bis zu 0,25 von der absoluten Arbeit des Wassers.

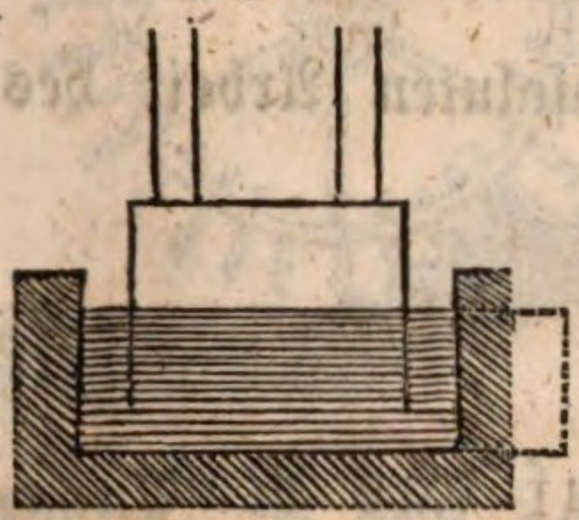
Bemerkung.

119. Diese Formel ist nur dann anwendbar, wenn das Rad alles Wasser zwischen den Schaufeln aufnehmen kann. Ist dieß nicht der Fall, so kann man wie in der nächsten Nummer rechnen.

Die Schaufeln haben einen bedeutenden Spielraum.

120. Ist der Spielraum bedeutend größer als der angegebene, so kann man vorstehende Erfahrungsformel nicht mehr anwenden, und man muß folgenden Weg einschlagen, um den Nutzeffekt des Rades zu erhalten.

Fig. 24.



Kennt man die Wassermenge nach Nr. 34 und weiter und die Geschwindigkeit **V**, mit der das Wasser beim Rade anlangt, und nennt man

L die Weite des Gerinnes,

x die Dicke der Wasserschichte im Gerinne, an dem Orte, wo sie das Rad erreicht;

so hat man

$$\mathbf{Q = V\,L\,x} \text{ und } \mathbf{x = \frac{Q}{V\,L}}$$

Aus der Zeichnung und aus den Dimensionen der Schaufeln bestimmt man nun die Tiefe bis zu der jede Schaufel untergetaucht ist, und berechnet die Größe **a** der eingetauchten Fläche der Schaufeln. Damit erhält man den Nutzeffekt des Rades nach der Formel

$$\mathbf{P\,v = 76{,}45\,a\,V\,(V - v)\,v^{km}},$$

Beispiel.

Bei einem Rade mit ebenen Schaufeln, das in seinem Gerinne einen Spielraum von $0^m{,}10$ auf jeder Seite und von $0^m{,}06$ am Boden hat, ist

$\mathbf{Q} = 0^{mc}{,}600$, $\mathbf{V} = 5^m{,}50$, $\mathbf{v} = 3^m$,

$\mathbf{L} = 1^m$, Weite des Gerinnes und

$\mathbf{l} = 0^m{,}8$, Breite der Schaufeln.

Welches ist der Nutzeffekt?

Man hat zuerst

$$x = \frac{Q}{V_L} = \frac{0{,}600}{5{,}5 \times 1} = 0^m{,}109.$$

$$a = 0{,}80\ (0{,}109 - 0{,}06) = 0^{mq}{,}0392$$

$$P\,v = 76{,}45 \times 0{,}0392 \times 5{,}50\ (5{,}50 - 3)\ 3 = 124^{km} = 1{,}65 \text{ Pferdekräfte.}$$

Ist hierbei die Schütze nahe bei dem Rade, so daß kein Geschwindigkeitsverlust im Gerinne statt hat, so ist das ganze Gefälle nahe die zur Geschwindigkeit $5^m{,}50$ gehörige oder $1^m{,}54$ und die absolute Kraft des Wassers ungefähr

$$1000 \times 0{,}600 \times 1{,}54 = 924^{km}.$$

Das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit des Wassers also nur

$$\frac{124}{924} = 0{,}134 = \frac{1}{7{,}46}.$$

Größter Druck des Wassers auf das Rad.

121. Es ist zuweilen von Wichtigkeit, den größten Druck zu kennen, den das Wasser beim Anfange der Bewegung auf das Rad ausüben kann. Um diesen zu erhalten, nehme man an, die Schütze sey so weit geöffnet, daß die ausfließende Wassermenge hinreiche, den Raum zwischen den Schaufeln auszufüllen, und berechne den Nutzeffekt für diese Wassermenge und die vortheilhafteste Geschwindigkeit. Diese auf das Rad übertragene Arbeit dividire man durch die Geschwindigkeit der Peripherie, so ist der Quotient der Druck auf die Schaufel beim Maximum des Effekts. Wird dieser mit 1,33 multiplizirt, so hat man den größten Druck, den das Rad ausüben kann, um die Maschine in Gang zu bringen.

Beispiel.

Ist $0^{mc}{,}500$ die größte Wassermenge, welche das Rad in Nr. 117 aufnehmen kann, und

$$v = 0{,}50 \times 4{,}50 = 2{,}25$$

die Geschwindigkeit des Rades für das Maximum des Effekts, so ist dieser

$$P\,v = 61 \times 0^{mc}{,}500 \times (4{,}50 - 2{,}25) \times 2{,}25 = 154^{km}{,}4.$$

Der Druck auf den Umfang reducirt, ist daher

$$P = \frac{154,4}{2,25} = 68^{kil},67 \text{ und}$$

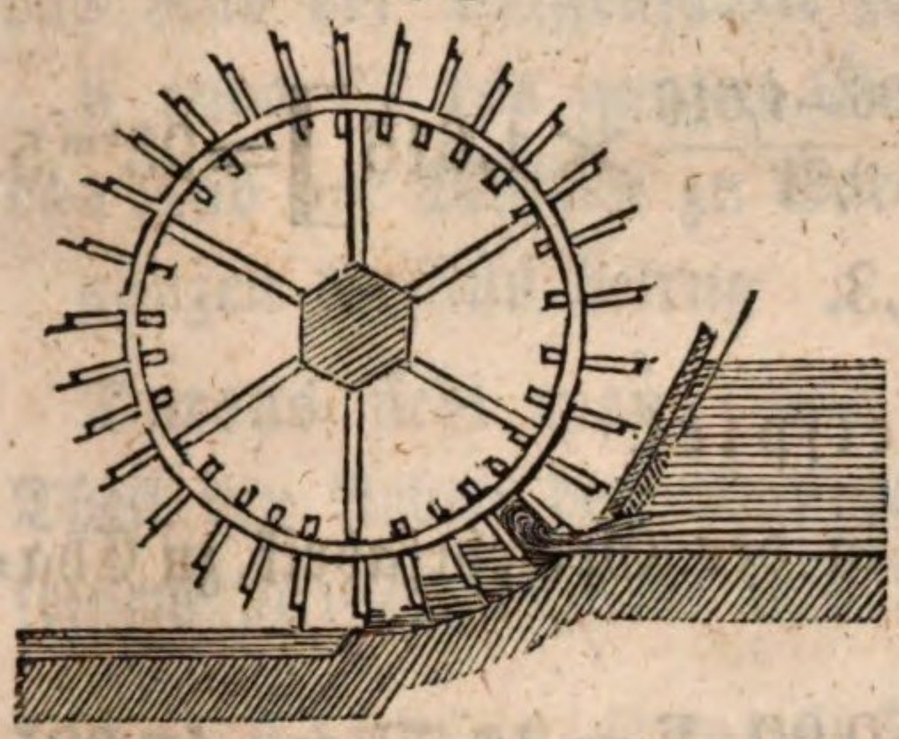
der größtmögliche Druck

$$1,33 \times 68,67 = 91,33^{kil}.$$

Räder mit unvollständigem Kropf.

122. Man sieht häufig sorgfältig ausgeführte Räder mit einem Kropf, der einen Theil des Gefälles einnimmt, mit sehr wenig Spielraum darin, und gewöhnlich mit einem Boden.

Fig. 25.



Das Wasser wirkt in diesen Rädern zuerst durch den Stoß bei seiner Ankunft mit der Geschwindigkeit V, dann durch das Herabsinken durch die Höhe h von dem Punkte, in dem der mittlere Wasserfaden die Peripherie des Rades trifft bis zum tiefsten Punkte des Rades oder bis zum Spiegel des Hinterwassers, wenn die Schaufeln in diesem gehen.

Vor der Schützöffnung steht hierbei das Wasser immer bis über den obern Rand derselben.

So oft die Wassermenge, welche in das Rad tritt, nicht $^2/_3$ der Capacität der Zellen, und die Geschwindigkeit des Rades die des zuströmenden Wassers nicht überschreitet, gibt folgende Formel den Nutzeffekt des Rades wenigstens bis auf $^1/_{20}$ genau *)

$$P\,v = 750\,Q\left[h + \frac{(V\cos a - v)\,v}{9,81}\right]^{km}$$

Die Bezeichnungen in Nr. 115.

Erstes Beispiel.

Rad in der Gießerei zu Toulouse. Man hat

$Q = 0^{mc},604,\ h = 0^{m},422,\ a = 0,\ V = 5^{m},47,\ v = 3^{m},04.$

Die Formel gibt den Nutzeffekt

$$P\,v = 750 \times 0,604\left[0,422 + \frac{(5,47 - 3,04)\,3,04}{9,81}\right] = 532^{km}.$$

---

*) Expériences sur les roues hydrauliques, par M. A. Morin, chapitre 1, 2, 3, 4, 5. Metz 1836. A Paris, chez L. Mathias, libraire.

Die direkte Beobachtung mit dem Bremsdynamometer gab 504^{km}.

Zweites Beispiel.

Für das Rad der Trockenanstalt in der Pulverfabrik zu Metz hat man

$$Q = 0^{mc},215,\ h = 0^{m},414,\ a = 0,\ V = 2^{m},696,\ v = 1^{m},616.$$

Die Formel gibt den Nutzeffekt

$$Pv = 750 \times 0{,}215 \left[0{,}414 + \frac{2{,}696 - 1{,}616}{9{,}81} \times 1{,}616 \right] = 95^{km},5.$$

Das Dynamometer zeigte $96^{km},3$.

Drittes Beispiel.

Bei dem Rad eines Hammers in der Gewehrfabrik zu Chatellerault hat man

$$Q = 0^{mc},441,\ h = 1^{m},28,\ \cos a = 0{,}90,\ V = 2^{m},77,\ v = 1^{m},025.$$

Die Formel gibt den Nutzeffekt

$$Pv = 750 \times 0{,}441 \left[1{,}28 + \frac{2{,}493 - 1{,}025}{9{,}81} \times 1{,}025 \right] = 483^{km}.$$

Der Versuch mit dem Dynamometer gab 460^{km}.

Viertes Beispiel.

Bei dem Rade zum Zermahlen der Materialien für die Glashütte zu Baccarat (Meurthe) ist

$$Q = 0^{mc},392,\ h = 1^{m},40,\ a = 50^{o},\ V \cos a = 1^{m},985,\ v = 1^{m},375.$$

Die Formel gibt den Nutzeffekt

$$Pv = 750 \times 0{,}392 \left[1{,}40 + \frac{1{,}985 - 1{,}375}{9{,}81} \times 1{,}375 \right] = 437^{km}.$$

Der Versuch mit dem Dynamometer hat dasselbe Resultat gegeben.

Diese 4 Beispiele sind von den Rädern hergenommen, mit welchen die in der angeführten Abhandlung beschriebenen Versuche angestellt wurden, und welche zur Aufstellung obiger Formel benutzt wurden.

Vergleichung des Nutzeffekts und der absoluten Arbeit.

123. Die Vergleichung des Nutzeffektes und der absoluten

Arbeit des Wassers zeigt, daß das Verhältniß dieser beiden Größen ist, für

das Rad in der Gießerei zu Toulouse, wo die Höhe h nur etwa 1/4 des ganzen Gefälls war 0,40 bis 0,45

das Rad der Trockenanstalt in der Pulverfabrik zu Metz, wo h 2/5 des ganzen Gefälls war . 0,42 bis 0,49

das Rad der Waffenfabrik zu Chatellerault, wo h etwa 2/3 des ganzen Gefälls war . . . 0,47

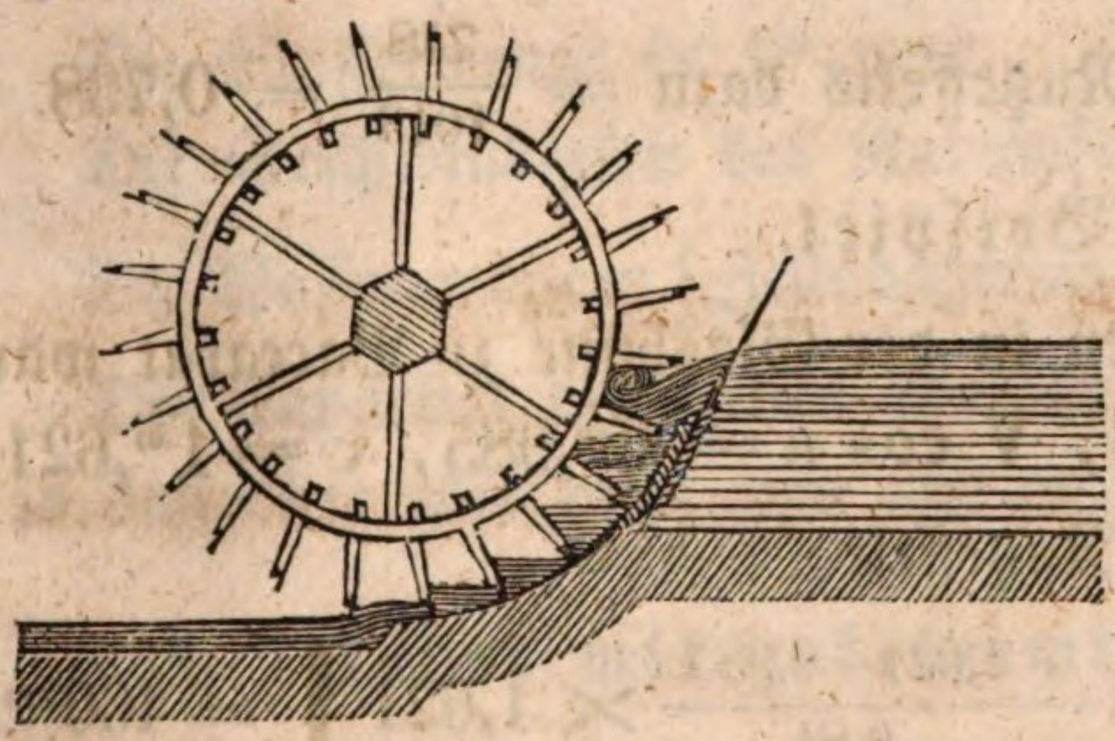
das Rad der Mühlen zu Baccarat, wo h 3/4 des ganzen Gefälls betrug 0,55

Daraus sieht man, wie diese Räder einen um so größern Theil der Arbeit des Wassers zu Nutze machen, je näher bei seinem Niveau dasselbe in's Rad tritt.

Vollständige Kropfräder mit ebenen Schaufeln und mit Ueberfallsschützen.

124. Die besten Räder mit ebenen Schaufeln sind die auf die ganze Höhe des Gefälls mit einem guten Kropf versehenen, in dem die Schaufeln nur einige Millimeter Spielraum haben, und in welche das Wasser über einen Ueberfall eintritt, der so nahe als möglich beim Rade angebracht ist.

Fig 26.



So oft das Wasser, welches eine Zelle aufnimmt, diese nicht über die Hälfte oder 2/3 füllt, und die Geschwindigkeit des Radumfangs die des eintretenden Wassers nicht sehr überschreitet, gibt folgende Erfahrungsformel bis auf 1/20 wenigstens genau den Nutzeffekt

$$P\,v = 799\,Q\left[h + \frac{(V\cos a - v)\,v}{9{,}81}\right]^{km}$$

Diese Formel zeigt den Vortheil, den es gewährt, eine Ueberfallschütze anzuwenden; noch deutlicher geht dieser aber hervor, wenn man den Nutzeffekt mit der absoluten Arbeit des Wassers vergleicht; das Verhältniß beider steigt hier bis

zu 0,75, während es für die vorhergehenden Räder höchstens 0,55 war *).

Beispiel.

Welches ist der Nutzeffekt des Rades mit ebenen Schaufeln in der Glasschleiferei zu Baccarat unter folgenden Umständen?

Weite des Ueberfalls	$3^{m},90$
Höhe des Niveaus im Reservoir über der Schütze .	$0^{m},175$
Daraus erhält man die Wassermenge **Q**	$0^{mc},493$
Ganzes Gefälle	$2^{m},056$

Ferner hat man

$$\mathbf{h} = 1^{m},935, \quad \mathbf{V}\cos\mathbf{a} = 1^{m},033, \quad \mathbf{v} = 0^{m},728.$$

Daraus findet man den Nutzeffekt

$$\mathbf{P\,v} = 799 \times 0{,}493 \left[1{,}935 + \frac{1{,}033 - 0{,}728}{9{,}81} \times 0{,}728\right] = 772^{km}.$$

Der direkte Versuch mit dem Dynamometer gab 748^{km}.

Die absolute Arbeit des Wassers ist gleich

$$1000 \times 0{,}493 \times 2{,}056 = 1013^{km}$$

und das Verhältniß des Nutzeffekts dazu $= \frac{748}{1013} = 0{,}738$.

Beispiel.

Bei dem Rad der Mühlen in der Glashütte zu Baccarat war $\mathbf{Q} = 0^{mc},419$, $\mathbf{h} = 1^{m},48$, $\mathbf{V}\cos\mathbf{a} = 0^{m},985$, $\mathbf{v} = 1^{m},621$.

Damit findet man den Nutzeffekt

$$\mathbf{P\,v} = 799 \times 0{,}419 \left[1{,}48 - \frac{1{,}621 - 0{,}985}{9{,}81} \times 1{,}621\right] = 460^{km}.$$

Der Versuch mit dem Dynamometer gab 458^{km}.

Das ganze Gefälle ist $1^{m},623$, daher die absolute Arbeit des Wassers $1000 \times 0{,}419 \times 1{,}623 = 681^{km}$

und das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit des Wassers ist 0,673

während dasselbe Rad, wenn es das Wasser durch eine Schützöffnung mit Wasserdruck über ihr erhielt, nur 0,55 der Gesammtarbeit des Wassers zu Nutzen macht.

---

*) Man sehe das angeführte Memoire, Kapitel 4 und 5. Seite 42 bis 65.

Anmerkung. Bei Anwendung der Formeln dieser und der vorhergehenden Nummer kann, wie im letzten Beispiel, die Zuflußgeschwindigkeit des Wassers kleiner seyn als die Geschwindigkeit des Rades, wo dann der Ausdruck $\frac{V \cos a - v}{9{,}81} . v$ subtraktiv wird.

Berechnung der Wassermenge in jeder Zelle.

125. Um das Volum Wasser q zu berechnen, das jede Zelle aufnimmt, hat man

$$q = \frac{Q\,e}{v}$$

wo e die Entfernung der Schaufeln auf dem äußern Radumfange bedeutet.

Beispiel.

Wie viel Wasser nimmt jede Zelle des Rades der Mühlen zu Baccarat im Falle des zweiten Beispiels in Nr. 92 auf?

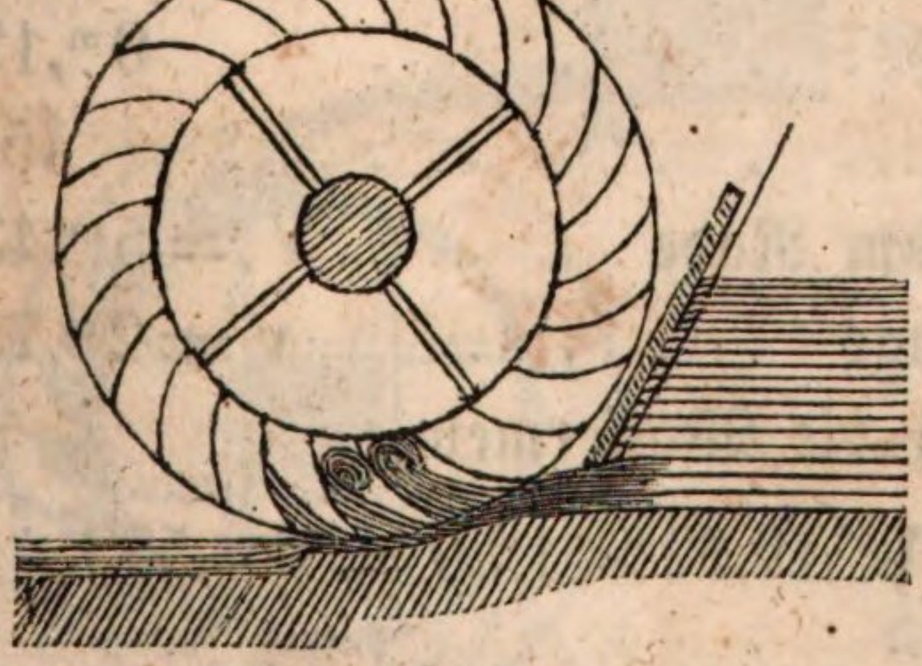
Die Entfernung der Schaufeln ist . . . . . $0^m,398$
Die Wassermenge in 1″ war . . . . . $Q = 0^{mc},419$
Die Geschwindigkeit des Radumfangs . . . $v = 1^m,621$
Die Wassermenge in 1 Zelle daher $= \frac{0{,}398}{1{,}621} \times 0{,}419 = 0^{mc},103$
Die Capacität der Zellen aber ist . . . . . $0^{mc},493$

so daß diese also nicht zum vierten Theile gefüllt werden.

Räder mit gekrümmten Schaufeln.

126. Man verdankt die Theorie und die Anordnung dieser Räder Poncelet. Sind die Schaufeln gut gekrümmt und hoch genug, daß das Wasser nicht über sie hinauf steigt, so lehrt die Erfahrung, 1) daß die vortheilhafteste Geschwindigkeit des äußern Radumfangs $v = 0{,}55\,V$ sey;

Fig. 27.



2) daß dann das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit des Wassers bei Gefällen von

2m,00	bis 2m,30	0,50,
1 ,50	„ 2 ,00	0,55,
1 ,50	und darunter	0,60

ist;

3) daß der Nutzeffekt sehr schnell abnimmt, sobald die Geschwindigkeit des Rades merklich größer oder kleiner wird, als die vortheilhafteste;

4) daß der größte Druck, den das Rad im Anfange der Bewegung ausüben kann, für eine Schützenöffnung, die gleich oder kleiner als 0m,15 ist, gleich 1,3 mal dem Drucke bei der vortheilhaftesten Geschwindigkeit ist, aber nur 1,25 mal diesem Drucke bei Schützenöffnungen von 0m,20 oder größerer Höhe.

Den Nutzeffekt dieser Räder erhält man nach den Formeln

$$P\,v = 122{,}3\,Q\,(V - v)\,v^{km}$$

für die Gefälle von 2m und darüber;

$$P\,v = 132{,}5\,Q\,(V - v)\,v^{km}$$

für die Gefälle von 1m,50 bis 2m,00 Höhe;

$$P\,v = 142{,}7\,Q\,(V - v)\,v^{km}$$

für die Gefälle unter 1m,50; endlich

$$P\,v = 102\,Q\,(V - v)\,v^{km}$$

für Gefälle von mehr als 2 Metern Höhe, mit vertikaler Schütze und nur mittelmäßig unterhaltenen Schaufeln.

Man muß die Anwendung dieser Formeln auf die Fälle beschränken, bei denen die Schützöffnungen 0m,10 oder mehr Höhe haben.

Erstes Beispiel.

Bei einem Rad mit gekrümmten Schaufeln hat man:

Die Druckhöhe über der Mitte der Schützöffnung	1m,50
Weite der Oeffnung	1m,10
Vertikale Höhe der Oeffnung	0m,12
Neigung der Schütze	45°
Geschwindigkeit des Wassers am Rade . . .	$V = 5^m,43$
Geschwindigkeit des Radumfangs	$v = 2^m,75$

Nach der Regel in Nr. 18 ist die Wassermenge

$$Q = 0{,}80 \times 1{,}10 \times 0{,}12\sqrt{19{,}62 \times 1{,}50} = 0^{mc},573.$$

Der Nutzeffekt

$$P\,v = 132{,}5 \times 0{,}573 \times (5{,}43 - 2{,}75) \times 2{,}75 = 560^{km}.$$

Das ganze Gefälle ist hierbei ungefähr 1^m65, daher die absolute Arbeit des Wassers 945^{km} und das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit des Wassers

$$\frac{560}{945} = 0{,}593.$$

Zweites Beispiel.

Welches ist der Nutzeffekt eines Rades mit krummen Schaufeln, bei dem

die Druckhöhe über dem Mittel der Schutzöffnung .	1^m
die Weite dieser Oeffnung	$0^m{,}95$
die vertikale Höhe derselben	$0^m{,}25$
die Neigung der Schütze	1 auf 1

ist.

Die Wassermenge in 1″ ist nach Nr. 18

$$Q = 0{,}80 \times 0{,}95 \times 0{,}25 \sqrt{19{,}62 \times 1} = 0^{mc}{,}842.$$

Die Geschwindigkeit des zufließenden Wassers . $V = 4^m{,}43$

Die Geschwindigkeit des Radumfangs . . . $v = 2^m{,}30$

Der gesuchte Nutzeffekt ist nun

$$P\,v = 142{,}7 \times 0{,}842\,(4{,}43 - 2{,}30) \times 2{,}30 = 589^{km}.$$

Das ganze Gefälle ist ungefähr $1^m{,}25$, daher die absolute Arbeit des Wassers . . . . . 1055^{km}

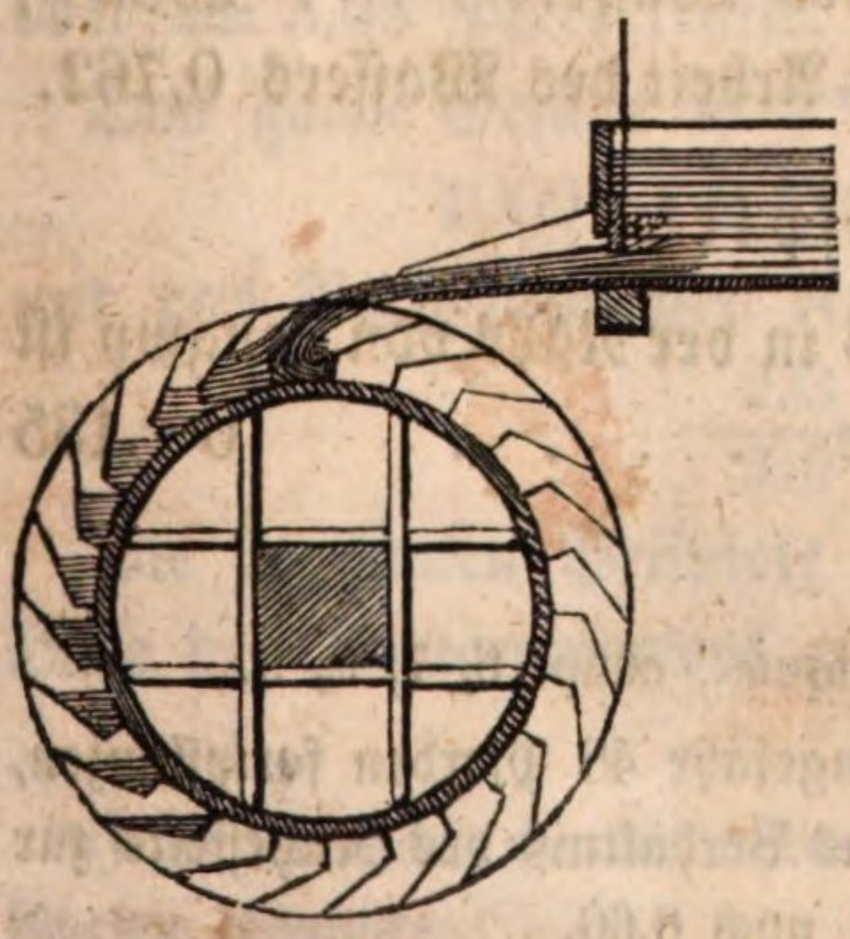
und das Verhältniß des Nutzeffekts zu dieser

Arbeit . . . . . $= \frac{589}{1055} = 0{,}560.$

Oberschlächtige Wasserräder.

127. Diese Räder erhalten ihr Wasser von oben durch ein Gerinne oder an der Seite durch eine geneigte Schütze. Wir unterscheiden für die Berechnung des Nutzeffektes dieser Räder zwei Fälle:

Fig. 28.



1) Das Rad hat am Umfange höchstens 2^m Geschwindigkeit, wenn es nur 2^m Durchmesser hat oder nur $2^m{,}5$ Geschwindigkeit, wenn es größer ist. Die Zellen sind nicht über halb voll, was man leicht nach Nr. 125 ersehen kann.

2) Das Rad ist klein, hat eine Geschwindigkeit von mehr als 2^m am Umfang; die Zellen sind über halb voll und die Centrifugalkraft beschleunigt das Ausgießen des Wassers, was schon in bedeutender Höhe beginnt.

Oberschlächtige Räder mit geringer Geschwindigkeit; die Schaufeln sind nicht über halb voll.

128. Der erste Fall ist der allgemeinere; bei ihm ist der Nutzeffekt nach zahlreichen Versuchen *), die mit Rädern von $9^m,10$, $3^m,425$, $2^m,74$ und $2^m,28$ Durchmesser angestellt wurden, auf $1/20$ genau durch die Formel

$$\mathbf{P\,v = 780\,Q\,h + 102\,Q\,(V\cos a - v)\,v}$$

gegeben, wo wieder die Bezeichnungen der Nr. 115 gebraucht sind.

Erstes Beispiel.

Für das Rad der Herrn N. Schlumberger et Comp. zu Gebweiler hat man folgende Daten:

Wassermenge in 1″	$\mathbf{Q} = 0^{mc},383$
Geschwindigkeit des zufließenden Wassers . .	$\mathbf{V} = 2^m,13$
Geschwindigkeit des Radumfangs	$\mathbf{v} = 1^m,22$
Cos a	$= 1$
Höhe des Einfallspunktes über dem Tiefsten des Rades	$\mathbf{h} = 7^m,452$

Damit findet man den Nutzeffekt

$$\mathbf{P\,v} = 780 \times 0{,}383 \times 7{,}452 + 102 \times 0{,}383\,(2{,}13 - 1{,}22) \times 1{,}22 = 2270^{km}$$

oder 30,26 Pferdekräfte **).

Das ganze Gefälle ist . . . . . $7^m,78$
und folglich die absolute Arbeit des Wassers . . 2980^{km},
das Verhältniß des Nutzeffekts zur Arbeit des Wassers 0,762.

Zweites Beispiel.

Bei dem Rad der Mühle zu Senelles in der Nähe von Longwy ist die Wassermenge für die Sekunde . . . . $0^{mc},135$

---

*) Expériences sur les roues hydrauliques, chap. 6, 7, 8, 9.

**) Dieses Rad kann die Kraft von ungefähr 48 Pferden fortpflanzen, dann sind aber die Zellen zu voll und das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit des Wassers ist höchstens noch 0,60.

die Ankunftsgeschwindigkeit des Wassers auf dem Rade . . . . . $2^m,67$
die Geschwindigkeit des Radumfangs . . . . $1^m,70$
der Winkel beider Geschwindigkeiten . . . . $a = 36°$
die Höhe über dem Tiefsten des Rades, in welcher der mittlere Strahl den Radumfang trifft . $h = 3^m,425$

Damit findet man den Nutzeffekt

$$Pv = 780 \times 0,135 \times 3,425 + 102 \times 0,135 \times (2,67 \times 0,809 - 1,70) \times 1,70 = 374^{km}$$

oder ungefähr 5 Pferdekräften gleich.

Das ganze Gefälle beträgt $3^m,84$, die absolute Arbeit des Wassers also:

$$1000 \times 0,135 \times 3,84 = 519^{km}$$

und daher das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit des Wassers

$$\frac{374}{519} = 0,75.$$

Drittes Beispiel.

In der Schleiferei zu Fleur-Moulin (Mosel) ist ein Rad, für das man hat

die Wassermenge . . . . . $Q = 0^{mc},1215$
die Geschwindigkeit, mit der das Wasser den Radumfang erreicht . . . . . $V = 2^m,36$
die Umfangsgeschwindigkeit des Rades . . . $v = 1^m,24$
der Winkel beider Geschwindigkeiten nahe . $a = 0$
die Höhe, in der das Wasser einfällt . . . $h = 2^m,28$

Daraus findet man den Nutzeffekt

$$Pv = 780 \times 0,1215 \times 2,28 + 102 \times 0,1215 (2,36 - 1,24) \times 1,24 = 233^{km}$$

oder = 3,09 Pferdekräfte.

Das ganze Gefälle ist $2^m,56$, die absolute Arbeit des Wassers

$$1000 \times 0,1215 \times 2,56 = 310^{km},$$

und das Verhältniß des Nutzeffekts zur absoluten Arbeit

$$\frac{233}{310} = 0,749.$$

Die gegebenen Beispiele sind direkte Erfahrungen, die mit Hilfe des Dynamometers erhalten wurden *).

---

*) Expériences sur les roues hydrauliques, chap. 6, 7, 8 des angeführten Mémoire.

Die Zellen sind über halb voll.

129. Die Formel der vorhergehenden Nummer findet bei großen Wasserrädern noch Anwendung, wenn die Zellen dieser bis zu $^2/_3$ ihrer Capacität gefüllt sind, nur muß man dann den Coefficienten 780 im ersten Gliede mit 650 vertauschen.

Beispiel.

Bei dem Wasserrade in der Spinnerei der Herrn N. Schlumberger et Comp. zu Gebweiler (Haut-Rhin) ist

die Wassermenge	$Q = 0^{mc},766$
die Geschwindigkeit, mit der das Wasser aufs Rad kommt	$V = 3^{m},01$
die Geschwindigkeit des Radumfangs . . .	$v = 1^{m},50$
der Winkel dieser beiden Geschwindigkeiten .	$a = 0$
die Höhe, in der das Wasser einfällt . . .	$h = 7^{m},08$

Damit findet man

$$Pv = 650 \times 0{,}766 \times 7{,}08 + 102 \times 0{,}766\,(3{,}01 - 1{,}50) \times 1{,}50 = 3702^{km}.$$

Das ganze Gefälle beträgt $7^{m},77$, die absolute Arbeit des Wassers ist 5951 und daher das Verhältniß des Nutzeffekts zu dieser Arbeit

$$\frac{3702}{5951} = 0{,}621.$$

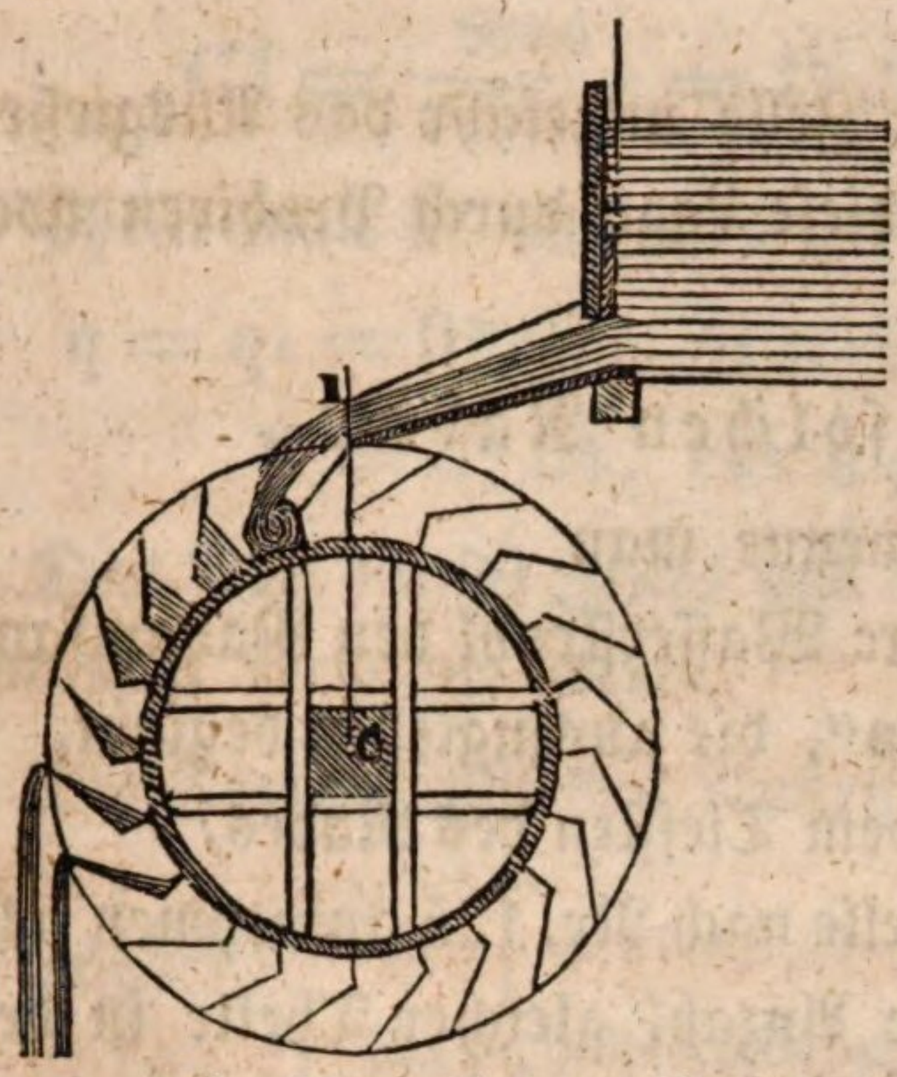
während dieß Verhältniß 0,75 ist, wenn die Schaufeln nur zur Hälfte gefüllt werden.

Wasserräder mit großer Geschwindigkeit, oder die Zellen sind über $^2/_3$ ihrer Capacität gefüllt.

130. Sind die Räder klein, ist ihre Geschwindigkeit am Umfange dabei größer als 2^{m} oder sind die Zellen über $^2/_3$ gefüllt, so beschleunigt die Centrifugalkraft das Ausgießen des Wassers in bedeutendem Grade, der von den Verhältnissen der Geschwindigkeiten und den Dimensionen abhängt, und dann findet obige Formel keine Anwendung mehr.

Dieser Fall kommt oft bei Hammerwerken, Sägmühlen u. s. w. vor; dabei muß man die Formeln von Poncelet, welche direkte

Fig. 29.



Versuche als entsprechend gezeigt haben *), zu Hilfe nehmen. Durch die Wirkung der Schwere und die Centrifugalkraft nimmt das Wasser in den Schaufeln eine cylindrische Oberfläche an, deren Axe der des Rades parallel ist und in der Vertikalebene durch die Axe des Rades in der Entfernung **C I** von dieser liegt. Es ist

$$\mathbf{C\,I} = \frac{894{,}6}{n^2},$$

wo **n** die Anzahl der Umdrehungen des Rades in 1″ bedeutet.

Beispiel.

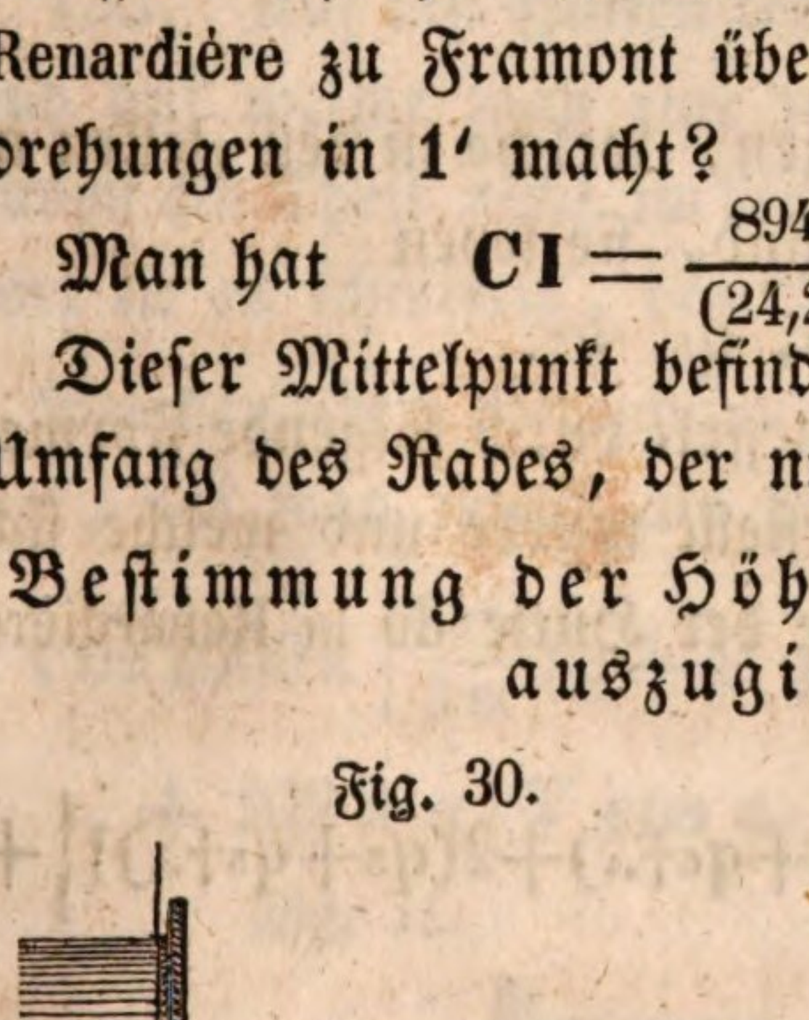
In welcher Höhe liegt der Mittelpunkt der Krümmung der Wasseroberflächen in den Zellen des Rades der Hütte de la Renardière zu Framont über der Axe, wenn dieses 24,25 Umdrehungen in 1′ macht?

Man hat $\mathbf{C\,I} = \frac{894{,}6}{(24{,}25)^2} = 1^m{,}52.$

Dieser Mittelpunkt befindet sich daher hierbei sehr nahe beim Umfang des Rades, der nur $1^m{,}37$ Halbmesser hat.

Bestimmung der Höhe, in welcher die Schaufeln auszugießen anfangen.

Fig. 30.



131. Hat man auf diese Art den Mittelpunkt der Krümmung der Oberflächen bestimmt, so beschreibe man von hier aus Kreisbögen, welche durch die Ränder der Zellen gehen; hat man dann nach Nr. 125 die Wassermenge berechnet, welche jede Zelle aufnimmt, so vergleiche man diese mit dem Volum, was sie enthalten kann, wenn sie ungefähr in die Höhe der Axe des Rades gekommen ist, was leicht ist,

*) Man sehe die Expériences sur les roues hydrauliques. chap. 9.

da man nur die Entfernung beider Radkränze mit den Größen des Profils multipliziren darf.

Man sieht so leicht, bei welcher Zelle ungefähr das Ausgießen anfangen muß, und suche dann diese Lage durch Probiren noch genauer.

Nutzeffekt eines solchen Rades.

132. Ist dieß geschehen, so nenne man

h die Höhe, in welcher der mittlere Wasserstrahl den Radumfang trifft über dem Rand der Zelle a″, die auszugießen beginnt,

h′ die Höhe dieses Randes über dem Tiefsten des Rades,

q die Wassermenge, welche jede Zelle nach Nr. 125 aufnehmen soll,

theile die Höhe h′ in eine gerade Anzahl gleicher Theile in den Punkten 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (Fig. 30), durch diese Punkte ziehe man Horizontale nach dem Radumfang, zeichne die innern Profile der Zellen, deren oberer Rand in diesen Höhen liegt, und beschreibe die Bögen I_1, I_2, I_3, ... I_7, welche die Wasseroberflächen begrenzen.

Nun berechne man die Wassermengen, welche in den Zellen in diesen verschiedenen Lagen enthalten sind, sie seyen

$$q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7.$$

Ist dieß geschehen, so ist der Nutzeffekt durch folgende Formel gegeben, welche von Poncelet aufgestellt wurde und welche sich durch Versuche mit dem Hammerrade der Hütte de la Renardière zu Framont *) bewährt hat.

$$Pv = 1000k \left\{ qh + \frac{h'}{3m}[q_1 + 4(q_2 + q_4 + q_6 + ..) + 2(q_3 + q_5 + ..)] \right\} + + 102\,Q\,(V\cos a - v)\,v,$$

in welcher k die Zahl der Schaufeln bedeutet, die in 1″ vor der Einflußöffnung vorübergehen und die man findet, wenn man die Geschwindigkeit v des Radumfangs durch die Entfernung e der Schaufeln von einander dividirt; m ist die Zahl der gleichen Theile in h′.

Beispiel.

Bei dem Rad in der Hütte de la Renardière zu Framont hat man

*) Die angeführten Expérienees sur les roues hydrauliques, chap. 9.

$$Q = 0^{mc},380, \quad n = 24,25$$

$$CI = \frac{894,6}{(24,25)^2} = 1^m,51, \quad h = 1^m,44, \quad h' = 1^m,30.$$

Theilt man h' nur in 4 gleiche Theile, so hat man

$$q = q_1 = 0^m,047, \quad q_2 = 0^{mc},027, \quad q_3 = q_4 = q_5 = 0$$

$$V = 5^m,04, \quad \cos a = 0,98, \quad v = 3^m,478.$$

Das Rad hat 20 Zellen und 8,083 gehen also in jeder Sekunde vor dem Gerinne vorbei.

Die Formel gibt den Nutzeffekt

$$Pv = \left\{ \begin{array}{c} 1000 \times 8,083 \left[0,047 \times 1,44 + \frac{1,30}{12} (0,047 + 4 \times 0,027) \right] \\ + \ 102 \times 0,380 \, (5,04 \times 0,98 - 3,478) \times 3,478 \end{array} \right\} = 880^{km}$$

oder gleich 11,7 Pferdekräften.

Das Rad kann nicht alles Wasser aufnehmen.

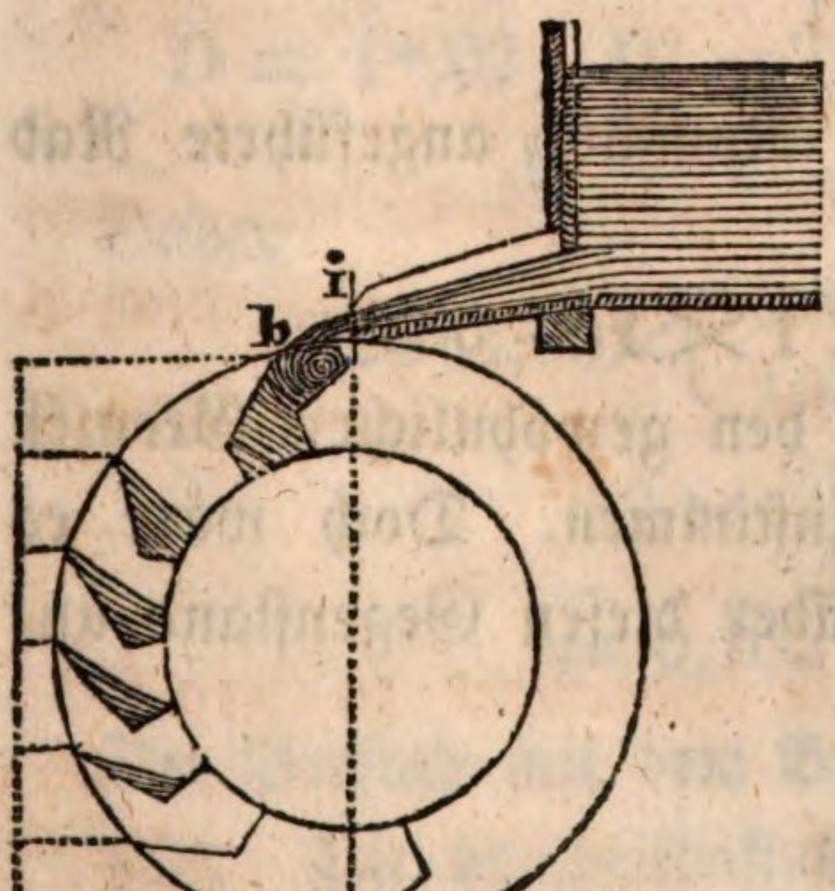
133. Auf den Hütten kommen Räder vor, die so schnell gehen, und auf welche man eine solche Masse Wasser fallen läßt, daß davon ein Theil nicht im Rade aufgenommen werden kann, und dort ist es schwierig, den Nutzeffekt zu bestimmen.

Bei derselben Bezeichnung, wie in der vorhergehenden Nummer, hat man jedoch als hinreichende Näherung die Formel

$$Pv = 1000\,k \left\{ \frac{h'}{3\,m} [q + 4(q_2 + q_4 + q_6 + ..) + 2(q_3 + q_5 + ..)] \right\} +$$

$$+ 102\,k\,q\,(V \cos a - v)\,v.$$

Fig. 31.



Um das Volum Wasser q zu bestimmen, welches die erste Zelle aufnimmt, muß man wieder den Kreisbogen mit dem Halbmesser l b beschreiben, und das Profil rechnen, welches durch diesen Bogen und die Seiten der Zelle begrenzt ist, endlich dieses mit der Weite der Zellen multipliziren.

Schiffmühlenräder.

134. Der Nutzeffekt der Schiffmühlenräder im unbegrenzten Wasser wird gewöhnlich nach folgender Formel berechnet:

$$P v = 147{,}5\ A\ (V - v)^2\ v$$

worin

A die Größe der Vertikalprojektion der eingetauchten Schaufeln,
V die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche,
v die Geschwindigkeit der Mitte jener Projektion bedeutet.

Beispiel.

Für ein Schiffmühlenrad in der Rhone hat man
die eingetauchte Fläche der vertikalen Schaufeln $A = 2^{mq},08$
die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche $V = 2^{m},00$
die Geschwindigkeit der Mitte des eingetauchten
Theils der vertikalen Schaufel . . . . . $z = 1^{m},00$
Die Formel gibt für den Nutzeffekt dieses Rades

$$P v = 147{,}5 \times 2{,}08 \times 1 = 307^{km}.$$

Andere Formel für diese Räder.

135. Poncelet hat eine andere Formel aufgestellt, die auf schärfere Betrachtungen gegründet ist als die vorhergehende, und welche sich mit großer Genauigkeit an die Resultate von siebenzehn Beobachtungen anschließt, die Bossut angestellt hat.

Diese Formel ist

$$P v = 80\ A\ V\ (V - v)\ v,$$

wobei die Bezeichnungen dieselben sind wie die vorhergehenden.

Beispiel.

Für das in der vorhergehenden Nummer angeführte Rad erhält man hier

$$P v = 80 \times 2{,}08 \times 2 \times 1 \times 1 = 333^{km}.$$

Man sieht, daß beide Formeln in den gewöhnlichen Grenzen der Praxis ungefähr auf $^1/_{12}$ übereinstimmen. Doch wäre es zu wünschen, daß direkte Versuche über diesen Gegenstand angestellt würden.

Turbinen.

136. Unter Turbinen versteht man gewöhnlich Räder mit

vertikaler Axe, deren ebene oder gekrümmte Schaufeln durch einen Wasserstrahl bewegt werden, der innen ein- und an dem Umfang austritt oder umgekehrt.

137. Im südlichen Frankreich gehen alte, roh gearbeitete Räder mit krummen Schaufeln oder Schalen, von denen die einen in Kufen von Holz oder Mauerwerk eingeschlossen sind. So sind die Räder in den Mühlen des Hospitals und des Basacle zu Toulouse, die Mühlräder zu Metz.

Die andern sind einfache Räder mit krummen Schaufeln, welche durch den Stoß des Wassers, das durch pyramidale Lutten darauf geführt wird, bewegt werden. Dahin gehören die Räder der Kanalmühle zu Toulouse und andere.

138. Die Räder in Kufen geben nach den Versuchen von Piobert an drei solchen Rädern einen Nutzeffekt

$$P\,v = \frac{4{,}2\,n\frac{D'^2}{D^2}\sqrt[4]{E-n^2}}{39\,\frac{D'}{D}E}\,1000\,Q\,H$$

wo Q die Wassermenge in 1 Sekunde,
H das ganze Gefäll,
n die Anzahl der Umdrehungen in 1 Minute,
D den Durchmesser der cylindrischen Kufe,
D' den innern Durchmesser des Rades,
E die Höhe der Schützöffnung bedeutet.

Die Wassermenge muß hier nach Nr. 22 berechnet werden.

Beispiel.

Bei der Mühle Nr. 3 des Basacle zu Toulouse hat man

$$D = 1^m{,}02,\quad D' = 0^m{,}89,\quad n = 1{,}50,\quad E = 0^m{,}50$$
$$Q = 1^{mc}{,}353,\quad H = 2^m{,}35.$$

Daher

$$P\,v = \frac{4{,}2\times 1{,}50\times\left(\frac{0{,}89}{1{,}02}\right)^2\sqrt[4]{0{,}50}-(1{,}50)^2}{39\times\frac{0{,}89}{1{,}02}\times 0{,}50}\times 1353\times 2{,}35 =$$
$$= 0{,}105\times 3180 = 334^{km}.$$

Der Versuch mit dem Bremsdynamometer gab 357^{km}.

139. Die vortheilhafteste Geschwindigkeit dieser Räder findet statt, wenn

$$n = 2{,}1\left(\frac{D'}{D}\right)^2 \sqrt[4]{E} \qquad \text{ist.}$$

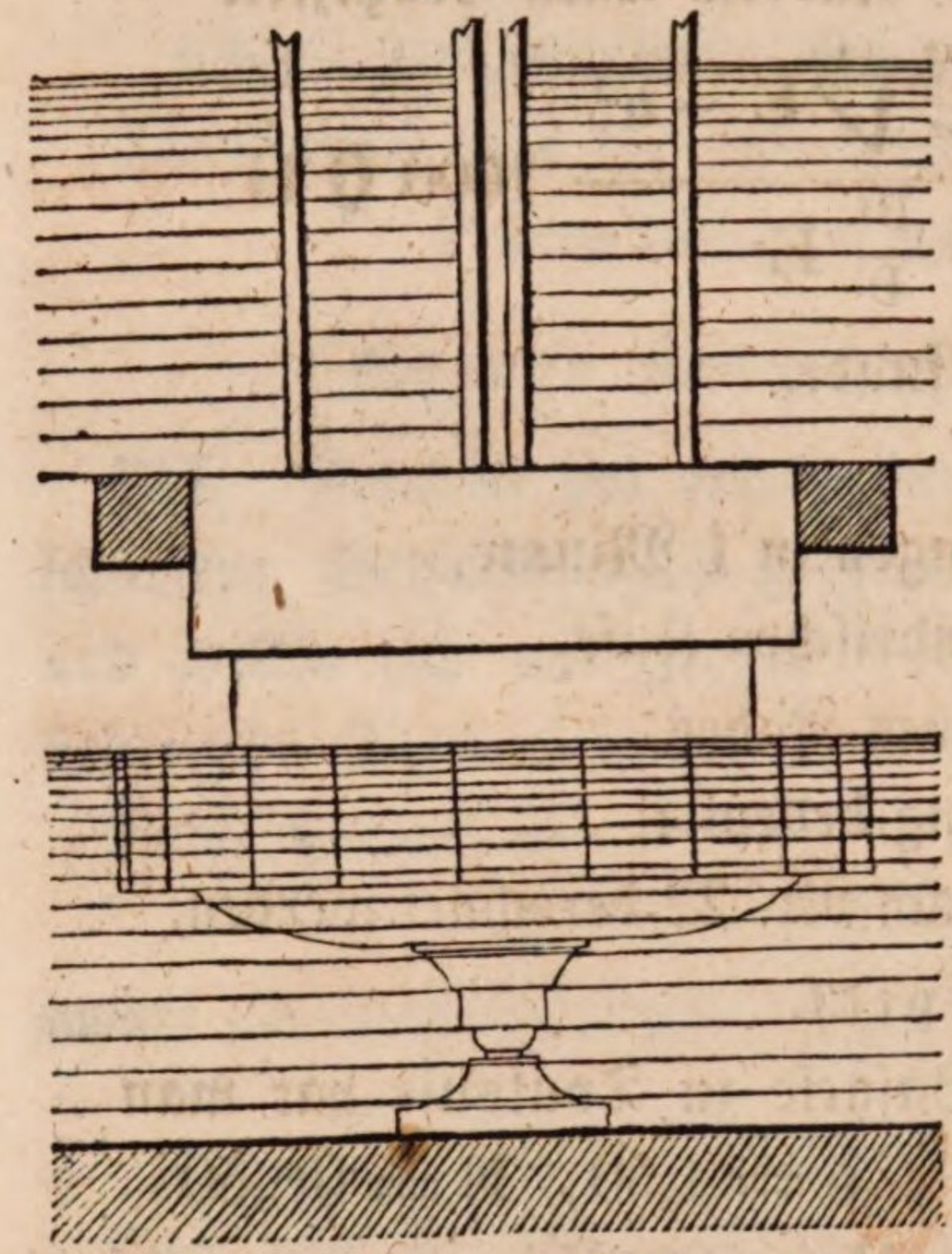
In dem vorstehenden Beispiele findet man

$$n = 2{,}1 \times \left(\frac{0{,}89}{1{,}02}\right)^2 \sqrt[4]{0{,}50} = 1{,}55.$$

140. Ueber die horizontalen Stoßräder haben Tardy und Piobert Versuche angestellt, und gefunden, daß bei den vortheilhaftesten Umständen der Effekt dieser Räder nur 0,35 von der absoluten Arbeit des Wassers betrage. Für die vortheilhafteste Geschwindigkeit des Rades fanden sie 0,55 der Geschwindigkeit des eintretenden Wassers, an dem Punkte, der vom Wasser getroffen wird.

Turbinen von Fourneyron.

Fig. 32.



141. Fourneyron konstruirt seit einigen Jahren Turbinen, deren Effekt den der ältern bei weitem überschreitet. (Fig. 32). Sie nehmen wenig Platz ein, haben ein sehr geringes Gewicht gegen die beträchtliche Kraft, die sie fortpflanzen, gehen in beliebiger Tiefe unter Wasser, und sind gleich brauchbar bei hohem, wie bei niederem Gefälle. Versuche *) über diese Räder haben gezeigt, daß wenn

n die Anzahl der Umläufe in 1 Minute,

V die Geschwindigkeit, welche dem ganzen Gefälle zukommt, und

---

*) Compte-Rendu des séances de l'Acad. des sciences, No. 13, 1836. No. 9, 1837. Expériences sur les roues hydrauliques à axe verticale appelées turbines, par A. Morin. Metz 1838.

R den äußern Halbmesser des Rades bedeutet, und

n zwischen $\frac{3{,}3\,V}{R}$ und $\frac{5{,}6\,V}{R}$

enthalten ist, und zugleich die Höhe der Schützenöffnung wenigstens $^2/_3$ der Höhe des Rades beträgt; der Nutzeffekt wenigstens auf $^1/_{15}$ genau durch die Formel

$$P\,v = 0{,}70\,Q\,H$$

gegeben ist, wo

Q die in 1 Sekunde zufließende Wassermenge,

H das ganze Gefälle bedeutet.

Anmerkung. Man muß hierbei die Wassermenge direkt bestimmen, und nicht aus der Größe der Schützöffnungen berechnen. Die Geschwindigkeit des Rades hat einen bedeutenden Einfluß auf diese Ausflußmenge.

Erstes Beispiel.

Für die Turbine der mechanischen Weberei von Mouffey bei Senones (Vogesen) hat man

die Wassermenge in 1 Sekunde $Q = 0^{mc},732,$

das ganze Gefälle $H = 6^{mc},911,$

die absolute Arbeit des Wassers $= 1000\,Q\,H = 5059^{km} = 67{,}4$ Pferdekräften.

Die Zahl der Umdrehungen liegt zwischen den angegebenen Grenzen.

Der Effekt der Turbine ist also nach der Formel

$0{,}70 \times 5059 = 3541^{km} = 47{,}2$ Pferdekräften.

Der Versuch gab $3406^{km} = 45{,}4$ Pferdekräften.

Zweites Beispiel.

Die Turbine der mechanischen Weberei zu Müllbach (Nieder-Rhein) hat

die Wassermenge in 1″ $Q = 1^{mc},943,$

das ganze Gefälle $H = 3^{m},230,$

und damit die absolute Arbeit $1000\,Q\,H = 6276^{km} = 83{,}68$ Pferdekräften.

Die Geschwindigkeit des Rades gibt 67 Umläufe in 1 Minute; dieß liegt zwischen den angegebenen Grenzen. Die obige Regel gibt den Nutzeffekt

$0{,}70 \times 6276 = 4393^{km} = 58{,}6$ Pferdekräften.

Der Versuch mit der Bremse gab 4389^{km}.

Kraft, in irgend einer gegebenen Entfernung von der Axe des Rades.

142. Hat man nach irgend einer der Regeln der Nrn. 117 bis 141 den Nutzeffekt berechnet, so findet man die mittlere Kraft, welche das Rad in irgend einer Entfernung von der Axe ausüben kann, wenn man den Nutzeffekt durch die Geschwindigkeit des betrachteten Punktes dividirt.

Erbauung von Wasserrädern.

Schützen.

143. Um den Verlust an Geschwindigkeit oder lebendiger Kraft möglichst zu vermindern, den immer die Gerinne herbeiführen, welche das Wasser von der Schütze zum Rad leiten, muß man die Schütze so nahe ans Rad stellen als möglich, und sie so anordnen, daß die Kontraktion möglichst gering wird. Zu dem Ende legt man bei Oeffnungen mit Wasser über dem obern Rande die Sohle und Seiten in die Verlängerungen des Bodens und der Seitenwände des Reservoirs, oder schließt sie an diese in sanften Krümmungen an, und neigt die Schütze.

Ueberfallsschützen legt man unmittelbar an das Rad.

Zuleitungskanal oder Reservoir.

144. Das Reservoir oder der Zuleitungskanal soll so groß seyn, als es die Oertlichkeit und die Oekonomie gestattet; ist man hierin beschränkt, so soll sein Querschnitt wenigstens 10 bis 12mal der größten Schützenöffnung gleich seyn.

Gefälle des Gerinnes.

145. Dem Gerinne zwischen der Schütze und dem Rade gibt man ein Gefälle von $^1/_{12}$ bis $^1/_{15}$, wenn es sehr kurz ist; wenn es aber länger ist, so wird es nach den Formeln in Nr. 47 und weiter bestimmt.

Spielraum des Rades.

146. Soll das Rad in einem cylindrischen Gerinne gehen, so ist es gut, dieß von gehauenen Steinen auszuführen und dem

Rade an den Seiten und dem Boden nur einen Spielraum von 4 bis 5 Millimetern zu geben.

Risch im Gerinne.

147. Bei den Rädern mit krummen Schaufeln bringt man unter dem Rade einen Abfall oder ein Risch von $0^m,20$ bis $0^m,30$ Tiefe an, um den Abfluß des Wassers zu erleichtern.

Bei Kropfrädern ist es gut, den Kropf um die Höhe, welche das Wasser zwischen zwei Schaufeln hat, unter den Spiegel des Hinterwassers zu legen. In der Regel ist diese Höhe $0^m,15$ bis $0^m,25$.

Ableitungskanal.

148. Für die Räder mit krummen Schaufeln oder für die oberschlächtigen Räder erweitert man das Gerinne unter der Axe des Rades.

Bei Kropfrädern, welche mit 1^m Geschwindigkeit des Radumfangs oder mehr gehen sollen, verlängert man die Seiten des Gerinnes noch einige Meter und gibt diesem Theile ein Gefälle, das dem Wasser die Geschwindigkeit des Rades sichert.

Etwas weiter entfernt erweitert man dann den Ableitungskanal und gibt ihm den möglichst kleinen Fall.

Hohe Hinterwasser.

149. Steigt das Hinterwasser häufig hoch herauf, so muß man bei unterschlächtigen und oberschlächtigen Rädern einen durch die Oertlichkeit zu bestimmenden Theil des Gefälls aufgeben, und den Boden des Gerinnes so hoch stellen, daß man nicht zu oft das Werk stille stehen lassen muß.

Dieser Umstand gibt den Turbinen, welche auch im Hinterwasser gehen, einen bedeutenden Vorzug.

Kropfrad mit ebenen Schaufeln.

150. Die Erfahrung, wie die Theorie hat gezeigt, daß diese Räder kräftiger wirken, wenn sie das Wasser durch einen Ueberfall erhalten; man wird daher eine Ueberfallschütze anwenden, und diese so nahe als möglich an das Rad legen. Der Halbmesser des Rades darf nie kleiner als die ganze Gefällhöhe seyn; sonst

aber kann man ihn je nach den Umständen und der Zahl der Umdrehungen, welche man in 1′ erhalten will, wählen.

Die Schütze senkt man $0^m,15$ bis $0^m,25$ unter den Wasserspiegel im Reservoir. Ist diese Senkung festgesetzt, so bestimmt man den Ort, in welchem der mittlere Wasserfaden das Rad trifft (Nr. 45).

Dann mißt man die Höhe h dieses Ortes über dem Tiefsten des Rades.

Die Geschwindigkeit **V**, mit der das Wasser beim Rade ankommt, ist die, welche zu der Höhe des Oberwasserspiegels über diesem Punkte gehört; ihre Richtung und den Winkel **a**, welchen diese mit dem Radumfang macht, bestimmt man nach Nr. 46.

Die Geschwindigkeit **v** des Rades kann in den Grenzen $v = 0{,}30\ V$ und $v = V$ ohne Uebelstand liegen; für die bessere Aufnahme des Wassers im Rade ist es jedoch gut, es so zu wählen, daß es in den Grenzen

$$v = 0{,}50\ V \text{ und } v = 0{,}70\ V$$

liegt.

Nach diesem hat man in der praktischen Formel (Nr. 124) für Kropfräder

$$P\,v = 799\,Q\left[h + \frac{(V\cos a - v)}{9{,}81}\,v\right]$$

die Größen **h**, **V**, **v** und **cos a**, und es bleibt nur die Wassermenge **Q** oder der Nutzeffekt **P v** zu bestimmen.

Bei den Anwendungen können nun zwei Fälle vorkommen: im ersten ist der Nutzeffekt oder die Kraft, welche das Rad fortpflanzen soll, gegeben, und die erforderliche Wassermenge in 1″ ist zu bestimmen.

Im zweiten ist die Wassermenge, welche man benutzen kann, gegeben, und man will die Kraft oder den Nutzeffekt des Rades bestimmen.

Ein Kropfrad von gegebener Kraft anzuordnen.

151. Im ersten Fall, wo der Nutzeffekt gegeben ist, berechnet man die erforderliche Wassermenge nach der Formel

$$Q = \frac{P\,v}{799\left[h + \frac{V\cos a - v}{9{,}81} \times v\right]}$$ Kubikmeter.

Da man eine Ueberfallschütze hat, so ist die Wassermenge in 1″

$$Q = m\,L\,H\sqrt{2\,g\,H}$$

nach Nr. 26, wobei **H** nach Nr. 150 zwischen $0^m,15$ und $0^m,25$ zu nehmen, und also $m = 0,390$ ist.

Da hier **Q**, **m**, **H** und **g** bekannt sind, so hat man nur **L** zu bestimmen, was nach der Formel

$$L = \frac{Q}{0,390\, H\sqrt{2\,g\,H}}$$

geschieht.

Breite des Rades.

152. Zur Breite des Rades nimmt man diese Weite der Ausflußöffnung und gibt auf jeder Seite etwa $0^m,05$ zu.

153. Anmerkung. Die vorhergehenden Vorschriften führen zuweilen zu einer Breite, welche man in der Ausführung nicht anwenden kann, weil das Rad überhaupt zu breit würde, oder weil die Oertlichkeiten eine solche Breite nicht gestatten. Im Allgemeinen macht man die Räder nicht breiter als 5 bis 6^m, obwohl man zuweilen Räder von 8 und 9^m Breite sieht.

In diesem Fall vermehrt man die Höhe **H**, legt also die Schütze tiefer bis auf $0^m,30$ und selbst $0^m,35$ unter den Oberwasserspiegel, was eine geringere Breite gibt.

Dimensionen der Schaufeln.

154. Die Schaufeln stellt man $0^m,30$ bis $0^m,40$ an dem äußern Radumfang aus einander, in die Richtung des Halbmessers, wodurch die Verbindungen erleichtert werden. Es ist unnöthig, sie gegen den Halbmesser zu neigen, um beim Eintritt des Wassers den Stoß zu vermeiden, denn man kann hierdurch den Verlust an bewegender Kraft beim Eintritt des Wassers nicht umgehen, der übrigens unbedeutend ist.

Bei sehr hohen Schützöffnungen muß man die Schaufeln wohl $0^m,45$ bis $0^m,50$ weit von einander stellen, was übrigens als obere Grenze hierfür angesehen werden kann.

Der Halbmesser des Rades ist, wie in Nr. 150 gesagt wurde, durch Betrachtungen, die der zu erbauenden Anlage angehören, bestimmt; die Zahl der Schaufeln muß eine ganze und überdieß der leichtern Verbindung wegen durch die Zahl der Radarme theilbar seyn; man wird daher unter den Zahlen, welche dieser Bedingung entsprechen, die wählen, welche für die Schaufeln die gehörige Entfernung gibt.

Für die gewöhnlichen Fälle theilt man demnach den Radumfang durch 0,35 und nimmt für die Zahl der Schaufeln die nächste ganze, welche durch die Zahl der Radarme theilbar ist.

Man weiß, daß man zwischen dem Boden der Zelle und der Schaufel, welche darüber steht, einen Spielraum von $0^m,03$ bis $0^m,05$ lassen muß, um die Luft hinaus zu lassen.

Bemerkung hinsichtlich der Capacität der Zellen.

155. Sind die Zahl und die Dimensionen der Zellen so bestimmt, so kann man leicht ihre Capacität berechnen, welche dem Produkte aus der Länge der Schaufeln in die Größe des Trapezes, das aus zwei auf einander folgenden Schaufeln und dem Boden gebildet wird, gleich ist. Man versichert sich dann nach Nr. 125, daß bei der Geschwindigkeit v, oder der kleinsten, welche das Rad erhalten kann, die Zellen nicht über die Hälfte oder $^2/_3$ gefüllt sind, was für den guten Effekt des Rades durchaus erfordert wird (Nr. 124).

Zweiter Fall. Die Wassermenge ist gegeben.

156. Man verfährt im zweiten Fall ganz nach den eben gegebenen Regeln, und berechnet zuletzt nach Nr. 124 den Nutzeffekt des Rades.

Räder mit gekrümmten Schaufeln.

157. Hat man das ganze Gefälle bestimmt, und das Risch im Gerinne nach Nr. 147 angeordnet, so bestimmt man nach den jedesmaligen Umständen und der Anzahl der gewünschten Umdrehungen in 1′, nach Nr. 167, den Halbmesser des Rades.

Dann verfährt man nach folgenden, von Poncelet in seinem schönen Memoire gegebenen Regeln.

Profil des Gerinnes.

158. Vom Centrum des Rades aus, mit dem um höchstens ein Centimeter vermehrten Halbmesser des äußern Umfangs, beschreibe man an der untern Seite einen kleinen Kreisbogen, auf dem man hinter der Axe des Rades eine Länge von $0^m,20$ ungefähr nimmt; dort kommt der Anfang des Risches hin.

Gegen das Oberwasser hin ziehe man an diesen Bogen eine Tangente, die $^1/_{12}$ geneigt ist.

Nun ziehe man eine Linie unter 45° oder 60° geneigt, wie es die Lokalität gestattet, in einer Entfernung von 0m,06 oder 0m,10 von dem äußern Radumfang. Diese gibt die Richtung der Schützenwand, welche aus Pfosten von 0m,05 Dicke oder aus einer gußeisernen Platte gebildet ist.

Einschnitte für die Radkränze.

159. Zwischen dem tiefsten Punkte des Rades und der Schütze sollen die Radkränze in die Seitenwände des Gerinnes eingelassen seyn, wo sie höchstens 0m,01 Spielraum haben. Diese rund ausgeschnittenen Seitenwände sollen ungefähr 0m,10 über die größte Höhe der Schützenöffnung hinaufgehen.

Neigung der Schütze.

160. Die Schütze bewegt sich, parallel mit der Schützenwand, in Falzen, welche in den Griessäulen angebracht sind.

Der Boden und die vertikalen Seitenwände des Reservoirs schließen sich an die Ausflußöffnung durch sanfte Krümmungen und gerade Wände an, um auf diesen drei Seiten die Kontraktion zu vermeiden.

Höhe der Schützöffnung.

161. Die Schütze soll 0m,20 bis 0m,25 hoch aufgezogen werden, wenn hierdurch die Breite des Rades nicht zu klein wird.

Bei sehr mächtigen Rädern kann diese Höhe, vertikal auf das Gerinne gemessen, ohne Uebelstand 0m,30 und darüber betragen.

Breite der Kränze.

162. Die Breite der Radkränze soll wenigstens $^1/_3$ des Wasserstands über dem Fachbaum der Schütze seyn.

Zeichnung der Schaufeln.

163. Ist die Schütze auf die angenommene Höhe aufgezogen, so ziehe man durch ihren untern Rand eine Parallele zum Gerinnboden. In dem Punkte, wo diese Linie die äußere Peripherie des Rades trifft, errichte man auf sie eine Rechtwinkliche, in

welcher man den Mittelpunkt der Krümmung der Schaufeln $0^m,05$ bis $0^m,10$ innerhalb des innern Umfangs des Radkranzes nimmt.

Von diesem Mittelpunkte ziehe man durch den Punkt, wo die Oberfläche des Wassers dem Rad begegnet, einen Kreisbogen, so gibt dieser die Form der Schaufel.

Zahl der Schaufeln.

164. Die Entfernung der Schaufeln am Radumfang soll $0^m,20$ bis $0^m,25$ und ungefähr der Höhe der Schützöffnung gleich, ihre Zahl durch die Zahl der Radarme theilbar seyn. Man wird also den Radumfang durch 0,25 theilen, und die nächste ganze, durch die Anzahl der Radarme theilbare Zahl für die Zahl der Schaufeln nehmen.

Geschwindigkeit, mit der das Wasser an das Rad kommt.

165. Die Geschwindigkeit, mit der das Wasser das Rad erreicht, ist nahezu gleich der, welche der Druckhöhe über der Mitte der Schützöffnung zukommt, wenn diese und das Gerinne, wie in Nr. 158 und weiter gesagt wurde, angelegt sind.

Geschwindigkeit des Radumfangs.

166. Die Geschwindigkeit des Radumfangs soll nach den Erfahrungen von Poncelet gleich 0,55 von der Geschwindigkeit des Wassers seyn.

Halbmesser des Rades.

167. Kennt man die Geschwindigkeit des Radumfangs, und nennt man

n die Anzahl der Umdrehungen des Rades in 1′,

R den Radius der äußern Peripherie des Rades, so hat man

$$\mathbf{R} = 9{,}549\,\frac{\mathbf{v}}{\mathbf{n}}.$$

Bei Anwendung dieser Formel ist es gut, die Zahl **n** der Radumgänge so zu bestimmen, daß der Halbmesser des Rades nicht unter 1^m bis $1^m,20$ und nicht über 2^m bis $2^m,50$ ausfällt.

Anordnung eines Poncelet-Rades von gegebener Kraft.

168. Sind der Nutzeffekt, den das Rad liefern soll, gegeben,

V und v, die Geschwindigkeiten des Wassers und des Rades nach den obigen Vorschriften bestimmt, so berechnet man die Wassermenge, welche das Rad in 1″ erhalten muß nach der Formel

$$Q = 0{,}00818 \frac{P}{V - v}$$

für Gefälle von 2m und darüber,

$$Q = 0{,}00755 \frac{P}{V - v}$$

für Gefälle von 1m,50 und Höhen der Schützöffnungen von 0m,10 bis 0m,20, und

$$Q = 0{,}00701 \frac{P}{V - v}$$

für Gefälle unter 1m,50 und 0m,15 und größern Höhen der Schützöffnung.

In diesen Formeln ist P der Druck des Wassers auf das Rad auf den Radumfang reducirt. Man erhält ihn, wenn man den Nutzeffekt durch die Geschwindigkeit v des Radumfangs dividirt.

Weite der Schützöffnung.

169. Kennt man das Volum Wasser, das in 1″ auf das Rad fließen soll und die Höhe E der Schützöffnung, so rechnet man die Breite nach der Formel

$$L = \frac{Q}{0{,}75\, E \sqrt{2\, g\, H}}$$

für Schützen unter 1 Grundlinie auf 2 Höhe geneigt, und nach der Formel

$$L = \frac{Q}{0{,}80\, E \sqrt{2\, g\, H}},$$

wenn die Neigung der Schütze 1 auf 1 beträgt.

Innere Weite des Rades.

170. Die beiden Radkränze stellt man im Lichten um 0m,05 bis 0m,10 weiter aus einander als die Schützöffnung weit ist.

Für ein Poncelet-Rad ist die Wassermenge gegeben.

171. In diesem Fall wählt man die Höhe der Schützöffnung, berechnet nach Nr. 169 die Weite derselben, und ordnet das

Gerinne und das Rad nach den gegebenen Vorschriften ein. Dann hat man noch den Nutzeffekt des Rades nach Nr. 126 zu berechnen.

Oberschlächtige Räder. — Anordnung der Schütze.

172. Man hat zwei Arten, die Schütze bei oberschlächtigen Rädern anzuordnen, je nachdem der Wasserstand im Reservoir nahezu konstant oder veränderlich ist, und nach andern Betrachtungen.

Für Gefälle, bei denen das Niveau nicht um mehr als $0^m,20$ und $0^m,30$ sich ändert, kann man das Wasser über den Gipfel des Rades gehen lassen. Man verfährt dann wie folgt:

Kennt man den größten und kleinsten Wasserstand im Reservoir, so konstruirt man für die mittlere Höhe des Wassers.

Die Ausflußöffnung wird vertikal, ihre Sohle legt man für die Gefälle

$2,60^m$	bis	3^m	in eine	Höhe	von	$0,50^m$
3^m	„	4^m	—	—	—	$0,60^m$
4^m	„	6^m	—	—	—	$0,70^m$
6^m	„	7^m	—	—	—	$0,80^m$
7^m	„	8^m	—	—	—	$0,90^m$

unter den mittlern Wasserstand, und verbindet sie wie die Seiten der Oeffnung durch sanfte Krümmungen mit den Wänden des Reservoir.

Von dieser Sohle aus führt ein Gerinne, dessen Breite, der der Ausflußöffnung gleich, später bestimmt wird, mit einer Neigung von $^1/_{12}$ das Wasser auf das Rad. Man gibt ihm, wo man kann nur 1^m oder $1^m,50$ Länge.

Unter diesem Gerinne läßt man zwischen ihm und dem Rade einen Spielraum von $0^m,01$.

Nun ziehe man vom ganzen Gefälle den Wasserstand über der Sohle der Schütze, das Gefälle des Gerinnes und den Zwischenraum zwischen Rad und Gerinne ab, der Rest ist der Durchmesser des Rades.

Die Unterlagen des Kanalendes oder des Reservoirs legt man so, daß die Schütze so nahe als möglich an den Scheitel des Rades kommt und das Gerinne moglichst kurz wird; man wendet dazu häufig gußeiserne Träger an.

Aufzug der Schütze.

173. In den gewöhnlichen Fällen kann man die Höhe der Schützöffnung mit $0^m,10$ begrenzen, wenn damit die Breite des Rades nicht zu groß wird.

Zahl und Form der Zellen.

174. Die Entfernung der Zellen am Umfange soll zwischen $0^m,30$ und $0^m,40$ liegen, und ihre Zahl soll theilbar durch die Zahl der Radarme seyn. Man theilt daher den äußern Radumfang durch $0^m,35$ und nimmt für die Zahl der Zellen die nächstliegende ganze und durch die Anzahl der Radarme theilbare Zahl.

Den Radkränzen gibt man die Entfernung der Zellen zur Breite.

Für sehr mächtige Räder kann man, um die Breite zu vermindern, die Zellen $0^m,50$ weit aus einander stellen und die Radkränze $0^m,50$ breit machen.

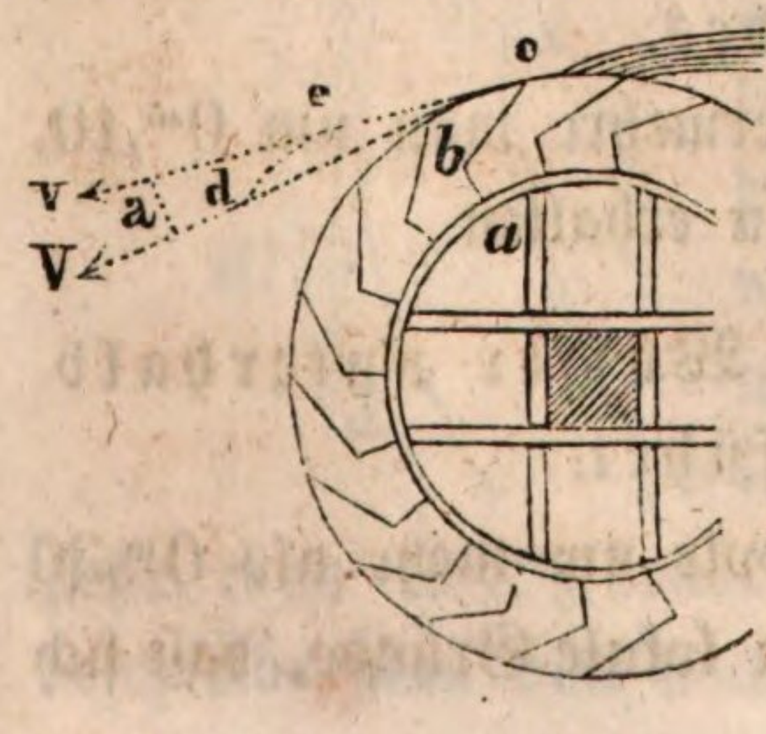
Man theilt den äußern Umfang in so viel gleiche Theile als man Zellen hat, und zieht durch die Theilpunkte Radien. Dann zieht man mitten zwischen den beiden Begrenzungskreisen der Radkränze einen dritten, so sind die innen abgeschnittenen Theile der Radien die Lagen und Größen der Riegelschaufeln. Die Stoßschaufeln richtet man von den Riegelschaufeln nach den vorhergehenden Theilpunkten in der äußern Peripherie.

Sollen die Schaufeln von Blech seyn, so rundet man den Winkel in der Mitte ab.

Bestimmung der Geschwindigkeit des Radumfangs.

175. Damit das Wasser nicht auf die äußere Seite der Stoßschaufel komme, wo es verspritzen würde, verfährt man, wie folgt:

Fig. 33.



Man bestimmt nach den Regeln in Nr. 45 und 46 den Punkt c, in welchem das Wasser das Rad trifft, die Geschwindigkeit des Wassers in diesem Punkte und ihre Richtung, und trage in dieser Richtung nach irgend einem Maßstab diese Geschwindigkeit von c nach d auf. Nun verzeichne man die

Schaufel **a b c**, und ziehe durch **d** eine Linie **d e** parallel mit der Stoßschaufel **b c**; die Tangente **c e** an den Radumfang gibt dann nach demselben Maßstab die Geschwindigkeit, welche das Rad im höchsten Fall haben darf. Die gewöhnlich gebrauchte Geschwindigkeit nimmt man dann etwas kleiner.

Für Räder von großem Durchmesser gibt das vorstehende Verfahren oft zu kleine Geschwindigkeiten. Dann kann man die Riegelschaufeln nur $^1/_3$ der Breite des Radkranzes zur Höhe geben, wodurch die Stoßschaufeln etwas stärker geneigt werden.

Bei hölzernen Rädern darf diese Geschwindigkeit nie unter 1^m bis $1^m,2$ herabgehen, um die Uebelstände zu vermeiden, welche die ungleiche Vertheilung des Gewichts um die Axe herbeiführen würde.

Höhe, welche das Wasser im Rad durchlauft.

176. Die Höhe **h**, welche das Wasser auf dem Rade durchlauft, ist in diesem Fall dem Durchmesser des Rades gleich.

Wassermenge für ein Rad von gegebener Kraft.

177. Um einen bestimmten Nutzeffekt hervorzubringen, muß man ein Volum Wasser auf das Rad fließen lassen, was durch die Formel

$$Q = \frac{P\,v}{780\,h + 102\,(V\cos a - v)\,v}$$

Kubikmeter gegeben ist.

Breite der Schützöffnung.

178. Die Weite der Schützöffnung, nach Nr. 143 angeordnet, findet man nach der Formel

$$L = \frac{Q}{0{,}70\,E\sqrt{2\,g\,H}}.$$

Breite des Rades.

179. Die Weite der Schützöffnung vermehre man um $0^m,10$, um die Entfernung beider Radkränze zu erhalten.

Schütze, welche dem Rad das Wasser unterhalb des Scheitels zuführt.

180. Ist der Wasserstand im Reservoir um mehr als $0^m,30$ bis $0^m,40$ veränderlich, oder verlangen lokale Gründe, daß sich

das Rad nach derselben Seite hindreht, wohin das Wasser fließt, so muß man die Schütze auf folgende Art anordnen, welche auch bei größeren Gefällen als von 4^m angewendet werden kann, und welche in Nr. 19 betrachtet und in Fig. 7 dargestellt ist.

Der mittlere Wasserstrahl soll dabei den äußern Radumfang 30° über der Horizontalen durch das Centrum oder 60° vom Scheitel entfernt, erreichen.

Andererseits ist es zweckdienlich, wenn das Wasser bei seinem Eintritte in das Rad eine Geschwindigkeit von ungefähr 3^m hat; nach diesem muß der Punkt, in welchem der mittlere Strahl des obern Ansatzes das Rad erreicht, wenigstens $0^m,46$ unter dem Oberwasserspiegel liegen.

Halbmesser des Rades.

181. Die Höhe **h**, welche das Wasser im Rade durchläuft, ist gleich dem um $0^m,46$ verminderten ganzen Gefälle, und der Halbmesser **R** des Rades gegeben durch die Formel

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{h}}{1 + \sin 30^\circ} = \frac{\mathbf{h}}{1{,}50}.$$

Richtung der Einflußansätze.

182. Um beim Eintritte des Wassers in die Zellen Stöße auf die äußere Seite der Stoßschaufeln zu vermeiden, muß man den Schienen, welche dem einfließenden Wasser die Richtung geben, eine zweckdienliche Stellung geben. Dieß kann auf folgende Art geschehen.

Fig. 34.

Im Punkte **c**, wo das Wasser auf das Rad kommt, ziehe man eine Tangente an dessen Umfang und verzeichne die Schaufel **c b a**. Nun nehme man die Geschwindigkeit **v** des Rades $= 0{,}66$ von der $\mathbf{V} = 3^m$ des Wassers, und trage nach irgend einem Maßstabe die Geschwindigkeit **v** von **c** nach **e** auf; in **e** ziehe man eine Parallele **e d** zu der Setzschaufel **b c**. Nun beschreibe man von **c** aus mit dem Radius $\mathbf{V} = 3^m$ einen Kreis-

bogen, der die Linie e d in d trifft, ziehe d c und verlängere diese rückwärts; diese Linie ist die Richtung des mittlern Strahls.

Rechts und links von dieser Linie in $0^m,05$ Entfernung ziehe man Parallellinien zu ihr; sie geben die Lage der Schienen, welche das Wasser zum Rad führen sollen.

Die Geschwindigkeit $v = 0,66\ V$ ist die größte, welche das Rad annehmen kann.

Da der Wasserspiegel sich weit unter den mittlern Stand senken kann, so bringt man eine andere Oeffnung an, welche das Wasser etwas weiter unten in das Rad leitet.

Nehmen wir z.B. an, das Niveau habe sich um $0^m,25$ gesenkt, so sucht man nun, wie vorhin, die Richtung, welche man dem mittlern Strahl geben muß, damit er, $0^m,46$ unter dem gesunkenen Wasserspiegel auf dem Rade anlangend, ohne Stoß eintritt.

Hat man die eben angegebene Konstruktion für diesen Fall wiederholt, so zieht man wieder parallel mit dem mittlern Strahl in $0^m,05$ Entfernung auf jeder Seite die Leitschienen für diese zweite Oeffnung.

Die inneren Leitschienen dieser beiden Oeffnungen werden nahezu zusammenfallen, und man wird deßhalb für beide nur eine nehmen, der man die mittlere Richtung beider gibt.

Kann sich das Niveau noch weiter senken, so setzt man voraus, es sey noch ferner $0^m,30$ gefallen, und bestimmt wieder für $V = 3^m$, $v = 0,66\ V = 2^m$ eine dritte Oeffnung.

Hat man so die Richtungen der Leitschienen bestimmt, so begrenzt man sie unten durch einen Kreisbogen in $0^m,01$ Entfernung vom Radumfang. Der Perpendikel vom untersten Punkte irgend einer dieser Leitschienen auf die nächst untere soll nicht über $0^m,07$ Länge haben, und überdieß sollen die Leitschienen noch wenigstens $0^m,04$ über diese Perpendikel hinaufgehen. Diese Bestimmungen stellen die Neigung der Schütze und ihre Lage fest.

Müssen mehrere dieser Oeffnungen zugleich aufgemacht, so wird die Geschwindigkeit des Wassers in den untern etwas größer seyn als oben angenommen wurde, das Wasser wird also noch immer gut in das Rad eintreten; aber es wird der Verlust an lebendiger Kraft etwas größer werden.

Im Allgemeinen ist es nicht räthlich, mehr als zwei dieser Ansätze zu öffnen; die Zellen füllen sich ohnedieß über die Hälfte.

Gut ist es, wenn diese Schützen von Gußeisen hergestellt werden: dann kann man den Schienen eine Dicke von nur $0^m,010$ bis höchstens $0^m,015$ geben. Diese erhalten Festigkeit durch Rippen, die in ungefähr $0^m,80$ Abstand angebracht werden.

Ist die Schütze von Gußeisen, so muß man ihr ein Gegengewicht geben.

Die Geschwindigkeit $\mathbf{v} = 0{,}66\ \mathbf{V}$ ist die größte, welche das Rad annehmen soll.

Diese Schützen sind bei sehr veränderlichem Wasserspiegel anwendbar, doch geht man nicht über $0^m,60$; und wendet sie nur an, wo dieß des veränderlichen Wasserstandes wegen nothwendig ist.

Weite der Einflußöffnungen.

183. Hat man ein Rad von gegebener Kraft zu erbauen, so versucht man zuerst die Wassermenge, und damit die Weite der Schützöffnungen so festzusetzen, daß nur eine auf einmal offen seyn muß.

Zu diesem Ende berechnet man zuerst die Wassermenge, welche man durch die obere Oeffnung fließen lassen muß, um den bestimmten Nutzeffekt $\mathbf{P\ v}$ zu erhalten nach der Formel in Nr. 177, für welche man $\mathbf{V}$, $\mathbf{v}$, $\mathbf{a}$ und $\mathbf{h}$ kennt; damit rechnet man dann die Weite $\mathbf{L}$ der Schützöffnung nach der Formel

$$\mathbf{L} = \frac{\mathbf{Q}}{0{,}75\ \mathbf{E}\sqrt{2\,\mathbf{g}\,\mathbf{H}}}$$

in welcher

$\mathbf{E}$ die Entfernung der beiden Leitschienen in der obern Einflußöffnung bedeutet, und

$\mathbf{H}$ den mittleren Wasserstand über dem obern Rand dieser Oeffnung.

Ist die so gefundene Weite nicht zu groß, so behält man sie als Weite der Schützöffnung bei; ist sie aber zu groß ausgefallen, so nimmt man an, es sey die folgende Oeffnung noch zum Theil oder ganz geöffnet, und erhält dann die Weite der Oeffnungen nach der Formel:

$$L = \frac{Q}{0{,}75\,(E\sqrt{2gH} + E'\sqrt{2gH'})}$$

wo

E' die Rechtwinkliche vom obern Rand der Schütze auf die Scheidewand beider Oeffnungen und

H' die Höhe des Wasserspiegels über der Mitte dieser Rechtwinklichen bedeutet.

Innere Weite des Rades.

184. Die lichte Entfernung beider Radkränze wird um $0^m,05$ bis $0^m,10$ größer als diese Weite.

Bemerkung hinsichtlich der Capacität der Schaufeln.

185. In allen Fällen muß man sich nach Nr. 125 überzeugen, daß bei der bestimmten Geschwindigkeit des Rades und der Wassermenge die Zellen höchstens halb voll werden.

Schiffmühlenräder.

186. Den Schaufeln gibt man $^1/_4$ oder $^1/_5$ des Radhalbmessers zur Höhe, die zwischen $0^m,35$ und $0^m,80$ liegen soll; ihre äußere Entfernung soll ihrer Höhe gleich seyn.

Der obere Rand derselben soll unter den Wasserspiegel um eine bestimmte Größe getaucht seyn, die von der Tiefe des Stroms abhängt und für die Mühlen auf der Rhone bis zu $0^m,50$ steigt.

Es ist vortheilhaft, an den äußern Rändern der Schaufeln diese mit Leisten von $0^m,05$ bis $0^m,10$ zu versehen.

Navier räth an, die Schaufeln unter ungefähr 30° gegen den Radius stromaufwärts zu neigen, wenn das Rad um $^1/_4$ bis $^1/_5$ seines Halbmessers eingetaucht ist und um 15°, wenn das Rad bis zu $^1/_5$ eingetaucht ist, was nicht überschritten werden darf.

Die Geschwindigkeit **V** des Wassers an der Oberfläche ist bekannt; die Geschwindigkeit **v** des Mittels der Schaufeln soll $= 0{,}4\,\mathbf{V}$ seyn.

Nennt man **E** die Höhe der Schaufeln, so kann man ihre Breite nach der Formel

$$L = \frac{P\,v}{147{,}5\,E\,(V-v)^2\,v}$$

bestimmen.

Beispiel.

Wie breit müssen die Schaufeln eines Schiffmühlenrades seyn, was eine Arbeit von 600^{km} in 1″ liefern soll und für das ist:

die Höhe der Schaufeln . . . . . $E = 0^m,80$

die Geschwindigkeit des Flusses . . . . $V = 1^m,80$

die Geschwindigkeit der Mitte der Schaufeln $v = 0,4\,V = 0^m,72$

Die Formel gibt

$$L = \frac{600}{147,5 \times 0,80\,(1,80 - 0,72)^2 \times 0,72} = 6^m,058.$$

Turbinen von Fourneyron.

187. Da die Erfahrung gezeigt hat, daß diese Räder ebenso gut unter Wasser gehen als über dem Hinterwasser, so stellt man sie so tief, daß man das zu irgend einer Zeit vorhandene Gefälle ganz benutzen kann, also unter das Niveau des Hinterwassers.

188. Die erforderliche Wassermenge für die Sekunde findet man

$$Q = \frac{P\,v}{700\,H},$$

wo **H** das ganze Gefälle bedeutet.

189. Den innern cylindrischen Behälter nimmt man so weit, daß das Wasser höchstens $^1/_4$ der Geschwindigkeit hat, die dem ganzen Gefälle zukommt. Damit hat man

$$D = \sqrt{\frac{1,273\,Q}{U}}$$

wo **U** der 4te oder 5te Theil des ganzen Gefälls ist, und bei sehr hohem Gefälle selbst der 36ste Theil.

Erstes Beispiel.

Es soll eine Turbine von 20 Pferdekräften bei einem Gefälle von $1^m,46$ erbaut werden.

Die erforderliche Wassermenge ist

$$\frac{20 \times 75}{700 \times 1,46} = 1^{mc},468.$$

Die Geschwindigkeit, welche zu dem vorhandenen Gefälle gehört, ist $= 5^m,35$; der 4te Theil davon $= 1^m,338$, und die untere Grenze von **D**

$$D = \sqrt{\frac{1,273 \times 1,468}{1,338}} = 1^m,182.$$

Nimmt man aber für U nur $^1/_5$ der Geschwindigkeit $5^m,35$, so wird

$$D = \sqrt{\frac{1,273 \times 1,468}{1,07}} = 1^m,322.$$

Zweites Beispiel.

Die Turbine in St. Blasien soll einen Wasserzufluß von $0^{mc},0343$ in der Sekunde und ein Gefäll von 108^m haben.

Von diesem Gefälle gehen durch die Widerstände der obgleich sehr weiten Röhrenleitung doch etwa 3^m verloren. Die Geschwindigkeit, welche dem übrigen Gefälle von 105^m zukommt, ist $= 45^m,41$. Der vierte Theil davon gibt den Durchmesser des inneren Behälters nur

$$= \sqrt{\frac{1,273 \times 0,0343}{11,35}} = 0^m,0620.$$

Bei der ausgeführten Turbine ist dieser Cylinder etwa 3mal so weit.

190. Dem so bestimmten Durchmesser setzt man bei größeren Rädern etwa $0^m,040$ bis $0^m,050$ zu für die Dicke der Schütze um den nothwendigen Spielraum, und erhält so den innern Durchmesser des Rades.

Bei sehr kleinen Rädern, die sehr genau gearbeitet sind, reichen $0^m,008$ hierfür hin.

Den äußern Durchmesser nimmt man nach Fourneyron bei kleineren Rädern 1,4mal so groß als den innern, bei größeren aber nur 1,2mal. Bei sehr kleinen Rädern wird man die Breite des Radkranzes selbst noch größer nehmen.

191. Die Geschwindigkeit des innern Radumfangs für das Maximum des Effekts ist gleich

$$\frac{V}{2 \sin \alpha},$$

womit man

$$\frac{4,78\,V}{\sin \alpha \,.\, R}$$

Umläufe in 1 Minute erhält. Dabei ist

V die Geschwindigkeit des zuströmenden Wassers $= \sqrt{2gH}$,

α der Winkel, den das letzte Element der Leitcurve mit dem Radius bildet, und

R der innere Halbmesser des Rades.

Der Winkel α wird möglichst groß genommen, doch wird man der schwierigen Konstruktion wegen nicht über 60° gehen. Bei großen Rädern wird man sogar bis zu 45° herabgehen. Für $\alpha = 60°$ hat man die Geschwindigkeit des innern Radkranzes

$0{,}58\ V$ und $\frac{5{,}54\ V}{R}$ Umläufe. Für $\alpha = 45°$ hat man

$0{,}71\ V$ und $\frac{6{,}79\ V}{R}$ Umläufe in 1′.

Hierbei kann man ohne merklichen Verlust an Nutzeffekt die Geschwindigkeit etwa um $^1/_5$ abnehmen lassen. Ueberschreiten darf man aber die Geschwindigkeit des Maximums nicht weit.

Erstes Beispiel.

Bei der Turbine des zweiten Beispiels oben sey $\alpha = 68°$; der innere Halbmesser $= 0^m{,}10$; dann ist die größte Anzahl der Umdrehungen in einer Minute, welche das Rad vortheilhaft macht

$$\frac{5{,}54 \times 45{,}41}{0{,}10} = 2500,$$

und damit kann man herunter gehen bis zu $^4/_5$ dieser Zahl, das ist bis zu 2000. Die Turbine zu St. Blasien macht 2200 bis 2300 Umläufe in der Minute.

Zweites Beispiel.

Für die Turbine des ersten Beispiels in Nr. 189 wünscht man 32 Umdrehungen in 1 Minute zu erhalten. Welchen Halbmesser muß sie erhalten. Setzt man $\alpha = 60°$, so kann man im Mittel

$$32 = \frac{5 \times 5{,}35}{R} \text{ setzen, woraus man}$$

$$R = \frac{5 \times 5{,}35}{32} = 0^m{,}836$$

erhält. Da dieser einen gehörig weiten inneren Cylinder gibt, so kann er beibehalten werden.

192. Der Winkel, den das erste Element der Schaufel mit dem betreffenden Halbmesser des Rades bildet, muß gleich

$2\alpha - 90$ Grad seyn. Er liegt auf der andern Seite des Radius als der Winkel α.

Für $\alpha = 60°$ wird der Winkel gleich 30° und nimmt von dort ab, wenn α wächst, bis er bei $\alpha = 45°$ gleich 0 wird.

Das äußerste Element der Schaufel soll mit dem äußern Bogen des Radkranzes einen Winkel von 10 bis höchstens 15° bilden.

Die Krümmung der Schaufel kann ganz gut ein Kreisbogen seyn, der die beiden Peripherien des Rades unter den gegebenen Winkeln durchschneidet.

Dabei muß man beachten, daß die kleinste Entfernung des Endes der Schaufel an der äußern Peripherie des Rades von der vorhergehenden Schaufel wenigstens 0,44 der Entfernung beider Schaufelenden beträgt. Ist dieß nicht der Fall, so muß man eine andere Krümmung der Schaufeln versuchen.

193. Die Höhe der Schützenöffnung ist gleich

$$h = \frac{Q}{1{,}6 \cdot R \, V}.$$

Bei der Turbine zu Mouffay ist die Wassermenge $= 0^{mc},732$; das ganze Gefälle $= 6^{m},911$,

$$\text{also } V = 4{,}43\sqrt{6{,}911} = 11^{m},65.$$

Der innere Radius des Rades ist ungefähr $0^{m},60$.
Damit wird die Höhe des Schützenzugs

$$= \frac{0{,}732}{1{,}6 \,.\, 0{,}60 \,.\, 11{,}65} = 0^{m},0646.$$

194. Die Schaufeln setzt Fourneyron ungefähr soweit auseinander als diese Höhe beträgt, und nimmt auf jede eine Leitcurve.

Vergleichung der verschiedenen Wasserräder.

Vor- und Nachtheile der Räder mit ebenen Schaufeln.

195. Die vollständigen Kropfräder geben bei genauer Ausführung, abgesehen von der Reibung an den Zapfen, einen Nutzeffekt von 0,70 bis 0,75 der absoluten Arbeit des Wassers.

Sie können, ohne daß ihr Nutzeffekt sich weit von seinem Maximum entfernt, mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten gehen, nämlich mit allen von der Geschwindigkeit des zufließenden Wassers bis zu der, bei welcher sich die Zellen auf $^2/_3$ füllen.

Sie sind hauptsächlich passend bei Gefällen von $1^m,30$ bis zu $2^m,50$.

Da ihr Radius wenigstens dem Gefälle gleich seyn muß, so werden sie bei Gefällen über $2^m,50$ sehr groß und folglich schwerfällig.

Ihre Nachtheile sind, zuweilen sehr breit zu werden, was die Oertlichkeiten oder die Schwierigkeiten der Konstruktion nicht erlauben, und in Wasser, was bedeutend über ihre Schaufeln heraufsteigt, nicht gehen zu können.

Vor- und Nachtheile der oberschlächtigen Räder.

196. Die Vortheile dieser Räder sind dieselben, wie bei den Kropfrädern; sie geben gleichfalls einen Nutzeffekt von 0,70 von der absoluten Arbeit des Wassers.

Sie eignen sich besonders für große Gefälle über 3^m, und da sie kein genau anschließendes Kropfgerinne brauchen, so sind sie weniger kostspielig.

Da das Wasser in der Regel mit einer Geschwindigkeit von $2^m,50$ bis 3^m wenigstens aufs Rad kommen soll, so können sie bei großem Gefälle eine sehr bedeutende Kraft ausüben, ohne sehr breit zu seyn.

Sie können noch gehen, wenn sie bis über die Kranzhöhe im Hinterwasser stehen.

Vor- und Nachtheile der Poncelet-Räder.

197. Die Poncelet-Räder geben einen Nutzeffekt von 0,65 der Arbeit des Wassers, wenn das Gefälle unter $1^m,50$ ist und 0,50 bis 0,60 für größere Gefälle.

Sie können mit bedeutender Geschwindigkeit gehen, wodurch man bei ihnen eine bedeutendere Anzahl der Umgänge in 1′ erhält, als bei den andern Systemen.

Ihre Breite, die der Schützöffnung und des Gerinnes ist bei gleicher Kraft hier kleiner als bei den Kropfrädern, was ihre

Konstruktion ökonomischer, ihr Gewicht kleiner macht und erlaubt sie in Lokalitäten aufzustellen, wo Kropfräder keinen Raum finden würden.

Sie können im Wasser bis zur Kranzhöhe oder bis zu 1/3 des Gefälls gehen, was sie sehr werthvoll für Orte macht, die Ueberschwemmungen ausgesetzt sind.

Ihr Nachtheil ist, daß sie nicht mit einer Geschwindigkeit gehen können, welche merklich kleiner ist als die dem Maximum des Effekts entsprechende, ohne bedeutend im Nutzeffekt abzunehmen.

Sie sind hauptsächlich anwendbar für kleine Gefälle von $1^m,50$ und darunter.

Vortheile der Turbinen.

198. Die Turbinen im Allgemeinen und besonders die von Fourneyron sind viel leichter, als andere Wasserräder, sie können sehr bedeutende, wie sehr kleine Gefälle benutzen, gehen vollständig untergetaucht, pflanzen unmittelbar durch ihre Axe eine sehr große Geschwindigkeit fort, und geben Nutzeffekte von 0,60 bis 0,75 von der absoluten Arbeit des Wassers. Ihre Geschwindigkeit kann sehr bedeutend abgeändert werden, ohne daß der Effekt sich weit von seinem Maximum entfernt.

Sie scheinen besonders zweckdienlich in den Fällen, wo die Räder in bedeutender Höhe ins Hinterwasser kommen können, und für Gefälle über 10 bis 12^m, wo ihre Erbauungskosten bedeutend geringer sind, als die der oberschlächtigen Räder, welche überdieß bestimmte Dimensionen nicht überschreiten können.

Windräder.

199. Die am meisten gebrauchten Windräder haben vier rechtwinkliche Flügel, welche windschiefe Flächen bilden, bei denen die der Rotationsaxe nächstliegende Sprosse einen Winkel von etwa 18°, die entfernteste einen Winkel von etwa 70 mit der Ebene der Bewegung macht. Man nennt diese Windräder holländische.

Häufig sind die Windflügel auch trapezförmig.

In Ebenen neigt man die Rotationsaxe unter 8 bis 15° gegen den Horizont.

Mittel, die Geschwindigkeit des Windes zu bestimmen.

200. Die Geschwindigkeit **V** des Windes kann man durch Beobachtung leichter Körper erhalten, welche in der Höhe des Rades in der Luft fliegen, wie z. B. einer Flaumfeder, des Rauches aus einem Schornstein u. dgl.

Smeaton gibt an, man erhalte diese Geschwindigkeit, wenn man die Geschwindigkeit der leer gehenden Windflügel an ihren äußersten Enden durch vier dividire.

Arbeit des Windrades.

201. Nennt man **O** die Oberfläche eines der vier Flügel, so erhält man den Nutzeffekt des Windrades nach den Erfahrungen von Coulomb und von Smeaton nach der praktischen Formel:

$$\mathbf{P\,v = 0{,}13\,O\,V^3}\ \text{kil. met.}$$

Darin soll für das Maximum des Effekts die Geschwindigkeit des äußersten Endes der Flügel $\mathbf{v = 2{,}6\,V}$ seyn.

Beispiel.

Welches ist der Nutzeffekt eines holländischen Windrades, für das ist:

Die Länge der Flügel	$10^{m},40$
Die Breite	$1^{m},95$
Die Oberfläche eines Flügels	$20^{mq},28$
Die Geschwindigkeit des Windes in 1″	$6^{m},50$
Die Geschwindigkeit am äußern Flügelende . . .	$16^{m},85$

Man erhält

$$\mathbf{P\,v = 0{,}13 \times 20{,}28 \times (6{,}50)^3 = 724^{km} = 9{,}70}\ \text{Pferdekräfte.}$$

Dampfmaschinen.

Erfahrungsresultate über den Dampf.

Abhängigkeit der Spannung und Dichte des Dampfes von der Temperatur.

202. Ehe wir die Regeln geben, nach denen der Nutzeffekt der Dampfmaschinen berechnet werden kann, zeigen wir, wie mehrere zu dieser Berechnung erforderliche Größen zu erhalten sind. Die Pressung oder Spannung des Dampfes wird wie die der Gase bestimmt, wozu verschiedene Wege in Nr. 101 angegeben wurden.

Steht der Dampf fortwährend in Berührung mit dem Wasser des Kessels, indem er erzeugt wird, so hängt seine Spannkraft nur von seiner Temperatur ab.

Diese Abhängigkeit ist in folgender Tafel angegeben, in welcher zugleich die Dichte und das Volum des gesättigten Wasserdampfes enthalten ist.

Spannkraft des Dampfes in Atmosphären.	Queckſilberſäule von 0°, welche die Spannkraft mißt.	Temperatur. 100theiliges Queckſilber-Thermomet.	Druck auf 1 Quadratcentimeter.	Dichte oder Gewicht eines Kubikmeters Dampf.	Volum von 1kil Dampf.
Atm.	m	o	kil.	kil.	Liter.
0.00171	0.0013	—20.0	0.0018	0.0015	666667.0
0.0025	0.0019	—15.0	0.0026	0.0022	454546
0.0034	0.0026	—10.0	0.0036	0.0029	344828
0.0047	0.0036	— 5.0	0.0050	0.0040	250000
0.0066	0.0050	0.0	0.0069	0.0054	185185
0.0091	0 0069	5.0	0.0094	0.0072	138889
0.0125	0.0095	10.0	0.0129	0.0097	103093
0.0168	0.0128	15.0	0.0170	0 0126	79365.1
0.0228	0.0173	20.0	0.0235	0.0171	58479.5
0.0304	0.0231	25.0	0.0314	0.0225	44444.5
0.0402	0.0306	30.0	0.0418	0.0295	33898.2
0.0531	0.0404	35.0	0.0549	0.0381	26246.7
0.0698	0.0530	40.0	0.0720	0.0491	20366.6
0.0905	0.0687	45.0	0.0934	0.0627	15948.9

Spannkraft des Dampfes in Atmosphären.	Queckſilberſäule von 0°, welche die Spannkraft mißt.	Temperatur. 100theiliges Queckſilber-Thermomet.	Druck auf 1 Quadratcentimeter.	Dichte oder Gewicht eines Kubikmeters Dampf.	Volum von 1kil. Dampf.
Atm.	m	o	kil.	kil.	Liter.
0.1165	0.0887	50.0	0.1205	0.0797	12547.1
0.1495	0.1137	55.0	0.1544	0.1005	9951.4
0.1905	0.1447	60.0	0.1965	0.1260	7936.5
0.2404	0.1827	65.0	0.2482	0.1568	6377.6
0.3013	0.2290	70.0	0.3112	0.1932	5176.0
0.3725	0.2831	75.0	0.3963	0.2433	4110.2
0.4633	0.3521	80.0	0.4783	0.2892	3457.8
0 5680	0.4317	85.0	0.5865	0.3497	2859.5
0.6912	0.5253	90.0	0.7136	0.4196	2383.2
0.8347	0.6343	95.0	0.8617	0.4998	2000.8
1.00	0.7600	100.0	1.0330	0.5913	1691.2
1.50	1.1400	112.2	1.5490	0.8583	1165.1
2.00	1.5200	121.4	2.0660	1.1177	895.3
2 50	1.9000	128.8	2.5820	1.3711	729.3
3.00	2.2800	135.1	3.0990	1.6200	617.3
3.50	2.6600	140.6	3.6150	1.8647	536.2
4.00	3.0400	145.4	4.1320	2.1072	474.6
4.50	3.42	149.06	4.648	2.3495	425.6
5.00	3.80	153.08	5.165	2.5860	386.7
5.50	4.18	156.80	5.681	2.8196	354.7
6.00	4.56	160.20	6.198	3 0520	327.7
6.50	4.94	163.48	6.714	3.2810	304.8
7.00	5. 2	166.50	7.231	3.5106	284.9
7.50	5.70	169.37	7.747	3.7353	267.7
8.00	6.08	172.10	8.264	3.9784	251.4
9.00	6.84	177.10	9.297	4.4057	227.0
10.00	7.60	181.60	10.335	4.8477	206.3
11.00	8.36	186.03	11.363	5.2807	189.4
12.00	9.12	190.00	12.396	5.7100	175.1
13.00	9.88	193.70	13.429	6.1367	163.0
14.00	10.64	197.19	14.462	6.5595	152 5
15.00	11.40	200.48	15.495	6.9790	143.3
16.00	12.16	203.60	16.528	7.3957	135.2
17.00	12.92	206.57	17.561	7 8087	128.1
18.00	13.68	209.40	18.594	8.2196	121.7
19.00	14.44	212.10	19.627	8.6284	115.9
20.00	15.20	214.70	20.660	9.0336	110.7
21.00	15.96	217.20	21.693	9.4372	106.0
22.00	16.72	219.60	22.726	9.8382	101.6
23.00	17.48	221.90	23.759	10.237	97.9
24.00	18.24	224.20	24.792	10.632	94.1

203. In dieser Tafel ist die Dichte des Wasserdampfes nach der Formel

$$d = \frac{0{,}7827}{1 + 0{,}00368\,t} \cdot p$$

berechnet, in welcher

d die Dichte,

t die Temperatur und

p den Druck auf 1 Quadratcentimeter bedeutet.

Diese Formel gilt auch noch wenn der Dampf nicht das zur Temperatur t gehörige Maximum der Spannkraft hat.

204. Das Gewicht eines bestimmten Volums Dampf ist damit

$$q = d \,.\, v^{kil},$$

wo v das Volum in Kubikmetern und

d die nach der vorhergehenden Nummer oder der Tafel in Nr. 202 genommene Dichte ist.

205. Dagegen ist das Volum eines bestimmten Gewichtes Dampf

$$v = \frac{q}{d} = 1{,}2777 \,.\, q \,.\, \frac{1 + 0{,}00368\,t}{p}.$$

Dabei sind die Bezeichnungen wie in Nr. 203 und 204.

Beispiel.

Welches Volum nehmen $1^{kil},5$ Wasserdampf bei $128°,8$ Temperatur und 2,5 Atmosphären Pressung ein?

Da nach der Tafel in Nr. 202 zur Temperatur $128°,8$ die Spannkraft 2,5 gehört, so kann aus ihr das Volum für 1^{kil} gleich $729^{lit},3$ genommen werden. Mit dieser Zahl erhält man das Volum

$$1{,}5 \times 729{,}3 = 1094^{lit} = 1^{mc},094.$$

Dasselbe hätte obige Formel gegeben, für die man $p = 2^{kil},582$ zu nehmen hat.

Wärmemenge.

206. Um Wärmemengen unter sich zu vergleichen, nimmt man als Einheit die Wärmemenge an, welche erforderlich ist, die Temperatur eines Kilogramms Wasser um einen Grad der hunderttheiligen Scale zu erhöhen.

Beispiel.

Wie viel Wärme braucht man, um 25 Liter Wasser um 125 Grad zu erwärmen?

Ein Liter Wasser wiegt 1^{kil}; man hat daher die Zahl der erforderlichen Wärmeeinheiten gleich

$$25 \times 125 = 3125.$$

Wärmemenge, welche beim Verbrennen verschiedener Brennstoffe frei wird.

207. Die folgende Tafel enthält die Wärmemengen, welche von 1^{kil} verschiedener Brennstoffe beim Verbrennen frei wird, wie das Volumen der zu dieser Verbrennung erforderlichen Luft. Dabei ist angenommen, daß mit Ausnahme des Holzes alle Brennstoffe die Hälfte der durchströmenden Luft ungeändert lassen, daß aber beim Holze nur $^1/_3$ des zugeführten Sauerstoffs der Verbrennung entgehe. Die letzte Spalte endlich enthält das Luftvolumen, welches aus der Verbrennung von 1^{kil} Brennstoff hervorgeht. Dabei ist

t die Temperatur dieser Luft,

α der Ausdehnungscoefficient, wofür hier 0,00367 genommen werden kann.

Brennstoff.	Wärmemenge.	Kalte Luft zum Verbrennen.	Luftmenge, die aus der Verbrennung hervorgeht.
		mc	mc
Gedörrtes Holz	3600	6,75	7,34 $(1+\alpha t)$
Lufttrocknes Holz	2800	5,40	6,11 $(1+\alpha t)$
Holzkohle	7000	16,40	16,40 $(1+\alpha t)$
Trockner Torf	4800	11,28	11,73 $(1+\alpha t)$
Torf mit 20% Wasser	3600	9,02	9,65 $(1+\alpha t)$
Torfkohle	5800	13,20	13,20 $(1+\alpha t)$
Steinkohle, mittlere	7500	18,10	18,44 $(1+\alpha t)$
Coaks	6000	15,00	15,00 $(1+\alpha t)$

Die Erfahrung zeigt, daß man von den Wärmemengen, welche diese Tafel angibt, nur $^1/_2$ oder $^2/_3$ bei den am besten eingerichteten Feuerungen zu Nutzen bringt.

Wärme des Wasserdampfes.

208. Die Wärmemenge in q^{kil} Wasserdampf von irgend einer Temperatur ist gleich

$$640\ q.$$

209. Die Menge Brennstoff, welche man zur Erzeugung von q^{kil} Wasserdampf bedarf, ist

$$\frac{q \times (640 - t)}{n},$$

wo t die Temperatur des Wassers, und
n die Wärmemenge ist, welche man von 1^{kil} des Brennstoffs nutzbringend erhält (Nr. 207).

Beispiel.

Wie viel Steinkohlen sind erforderlich, um 10 Kilogramm Dampf aus Wasser von 15° zu erhalten?

Nimmt man an, es werde 0,6 aller erzeugten Wärme benützt, so hat man

$$\frac{10 \times (640 - 15)}{0{,}6 \times 7500} = 1^{kil},39.$$

Menge des Wassers zur Condensirung.

210. Das Gewicht Wasser q mit der Temperatur t, das man mit einem Gewichte Dampf q' mischen muß, um Wasser von der Temperatur t' zu erhalten, ist gegeben durch die Gleichung

$$q = \frac{q'\,(640 - t')}{t' - t}.$$

Beispiel.

Wie viel Wasser von 12° Temperatur muß in den Kondensator einer Maschine von niederm Drucke eingespritzt werden, um 7^{kil} Dampf von 100° zu condensiren und bis auf 35° abzukühlen?

Es ist

$$q = \frac{7 \times (640 - 35)}{35 - 12} = 184^{kil} \text{ oder } 0^{mc},184.$$

Dampfmenge zur Erwärmung.

211. Um q^{kil} Wasser von der Temperatur t auf die Temperatur t' zu erwärmen, muß die Dampfmenge

$$q' = \frac{q\,(t'-t)}{640-t'}$$

in das Wasser geleitet, und darin condensirt werden.

Beispiel.

Um 2 Kubikmeter oder 2000^{kil} Wasser von 12° in einer Färbebütte auf 55° zu erwärmen, sind

$$q' = \frac{2000\,(55-12)}{640-12} = 137^{kil}$$ Dampf erforderlich.

Nutzeffekt der Dampfmaschinen.

212. Man gibt gewöhnlich den Nutzeffekt der Dampfmaschinen nach Pferdekräften an, welche man zu 75 Kilogramm in 1 Sekunde auf 1 Meter erhoben, festgesetzt hat.

Zuweilen vergleicht man auch die Menge der verbrannten Kohlen mit der hervorgebrachten Arbeit.

Wir werden Regeln zu beiden Vergleichungen geben.

Hochdruckmaschinen ohne Absperrung und Condensation.

213. Man hat den Effekt dieser Maschinen in Pferdekräften

$$= 236\,.\,S - 2{,}79\,n\,a\,h,$$

wo S die in 1 Sekunde verdampfte Wassermenge in Kilogrammen bedeutet. Dabei darf aber der durch das Sicherheitsventil oder Fugen entweichende Dampf nicht mitgerechnet werden,

n ist die Anzahl der einfachen Kolbengänge in 1 Minute,

a der Querschnitt des Kolbens,

h die Länge des Kolbengangs.

214. Das Maximum des Effekts ist in Pferdekräften

$$236\,S\,.\,\frac{p-1{,}1036}{p+0{,}3017},$$

und die Geschwindigkeit des Kolbens in 1 Sekunde

$$v = 2{,}022\,.\,\frac{S}{a(p+0{,}3017)}.$$

Hierbei ist

p der Druck des Dampfes im Dampfkessel auf 1 Quadratcentimeter.

215. Werden mit 1 Kilogramm Steinkohlen m Kilogramm Dampf erzeugt, so ist der mit 1 Kilogramm Steinkohlen erlangte größte Nutzeffekt

$$17700 \,.\, m \,.\, \frac{p - 1{,}1036}{p + 0{,}3017}.$$

Für gut bediente Hochdruckmaschinen kann man höchstens 5 Kilogramm Dampf auf 1 Kilogramm Steinkohlen annehmen, bei weniger gut bedienten, bei denen zugleich der Verlust durch Fugen größer wird, nur 3. Dann wird für eine Maschine von 4 Atmosphären Druck im Kessel, für welche $p = 4{,}1320$ ist der Effekt von 1 Kilogramm Steinkohlen,

bei gut bedienter Maschine

$$17700 \times 5 \times \frac{4{,}1320 - 1{,}1036}{4{,}1320 + 0{,}3017} = 69450^{km},$$

bei gewöhnlicher Bedienung

$$17700 \times 3 \times \frac{4{,}1320 - 1{,}1036}{4{,}1320 + 0{,}3017} = 41670^{km}.$$

Schlecht unterhaltene Maschinen scheinen selbst nur die Hälfte dieser Arbeit zu liefern.

Maschinen mit Condensation ohne Absperrung.

216. Der Effekt dieser Maschinen ist in Pferdskräften gegeben durch die Formel

$$210\,S - 0{,}838\,n\,a\,h.$$

Die Bezeichnungen sind dieselben, wie in der vorhergehenden Nummer.

217. Das Maximum des Effektes ist in Pferdskräften

$$\frac{210\,S\,(p - 0{,}351)}{p + 0{,}080},$$

und die hierzu gehörige Geschwindigkeit

$$v = 1{,}802 \,.\, \frac{S}{a\,(p + 0{,}080)}.$$

Bei diesen Formeln ist vorausgesetzt, daß die Condensation so vollständig sey, daß der Druck im Condensator nur $0^{kil}{,}169$ betrage.

Beispiel.

Die Pressung des Dampfes im Kessel sey $p = 1^{kil}{,}362$,
die Menge des verdampften Wassers in 1 Sekunde $S = 0^{kil}{,}2244$.

Damit wird das Maximum des Effektes

$$\frac{210 \times 0{,}2244\ (1{,}362 - 0{,}351)}{1{,}362 + 0{,}080} = 33{,}0 \text{ Pferdekräfte.}$$

Der Raum, den der Kolben durchlaufen muß, wenn diese Leistung eintreten soll, ergibt sich gleich

$$1{,}802 \times \frac{0{,}2244}{1{,}362 + 0{,}080} = 0^{mc},280,$$

welches zugleich die geringste Geschwindigkeit gibt, die bei diesem Wasserverbrauch und dieser Spannung des Dampfes durch Vermehrung des Widerstandes erreicht werden kann.

Soll nun der Kolben so schnell gehen, daß der von ihm in 1 Sekunde durchlaufene Raum $0^{mc},336$ wird, so ist

$$\mathbf{n\ a\ h} = 60 \times 0{,}336 = 20^{mc},16,$$

und der Effekt bei demselben Dampfverbrauch nur

$$210 \times 0{,}2244 - 0{,}838 \times 20{,}16 = 30{,}2 \text{ Pferdekräfte.}$$

217. Werden **m** Kilogramm Wasserdampf mit 1^{kil} Steinkohlen erzeugt, so ist die Arbeit von 1 Kilogramm Steinkohlen bei diesen Maschinen im Maximum

$$15700 \,.\, \mathbf{m} \,.\, \frac{p - 0{,}351}{p + 0{,}080}^{km}$$

Bei guten Feuerungen und Maschinen mit niederm Drucke ist **m** gleich 7, bei den gewöhnlichen Einrichtungen und Kohlen dagegen nur 6 und 5.

Nimmt man $p = 1^{kil},291$, was $^1/_4$ Atmosphäre Ueberdruck im Kessel entspricht, so wird die Arbeit von 1 Kilogramm Steinkohlen

bei **m** = 7	gleich	75600^{km},
„ **m** = 6	„	64800 ,
„ **m** = 5	„	54000 .

Für eine höhere Pressung des Dampfes wächst diese Größe.

Maschinen mit Absperrung und Condensation.

218. Diese Maschinen arbeiten mit einigen Atmosphären Druck. Es gehören hierher die sogenannten Maschinen von Cornwallis mit doppelter Wirkung, welches Wattsche Maschinen sind, die mit etwa $3^1/_2$ Atmosphären Druck ungefähr arbeiten, und bei denen die erste Wirkung des Dampfes und die Wirkung nach der Absperrung in einem und demselben

Cylinder geschieht. Für sie hat man die Arbeit in Pferdekräften gleich

$$220\,S\,D - 0{,}838\,n\,a\,h,$$

wo neben den Bezeichnungen in Nr. 213 noch

$$D = \frac{h'}{h'+c} + 2{,}303\,.\,\log\frac{h+c}{h'+c} \text{ ist.}$$

Dabei bedeutet

h' die Länge des Kolbengangs ehe die Absperrung eintritt,

c die Länge eines Cylinders von der Grundfläche a, dessen Volumen gleich ist dem am Ende des Cylinders nach vollendetem ganzen Laufe des Kolbens frei bleibenden Raume, die Leitungsröhren eingerechnet. Nimmt man c gleich $^1/_{20}$ h, was gewöhnlich nahe zutrifft, so hat man für D folgende Werthe:

$\frac{h'}{h}$	D	$\frac{h'}{h}$	D	$\frac{h'}{h}$	D	$\frac{h'}{h}$	D
0.10	2.613	0.30	1.955	0.50	1.555	0.70	1.269
0.11	2.569	0.31	1.931	0.51	1.539	0.71	1.257
0.12	2.526	0.32	1.908	0.52	1.523	0.72	1.240
0.13	2.485	0.33	1.884	0.53	1.507	0.73	1.233
0.14	2.446	0.34	1.862	0.54	1.491	0.74	1.221
0.15	2.408	0.35	1.840	0.55	1.476	0.75	1.210
0.16	2.371	0.36	1.818	0.56	1.461	0.76	1.197
0.17	2.336	0.37	1.797	0.57	1.445	0.77	1.186
0.18	2.301	0.38	1.776	0.58	1.431	0.78	1.175
0.19	2.268	0.39	1.755	0.59	1.417	0.79	1.164
0.20	2.235	0.40	1.736	0.60	1.402	0.80	1.153
0.21	2.203	0.41	1.716	0.61	1.388	0.81	1.142
0.22	2.173	0.42	1.697	0.62	1.374	0.82	1.131
0.23	2.142	0.43	1.678	0.63	1.361	0.83	1.120
0.24	2.114	0.44	1.660	0.64	1 347	0.84	1.109
0.25	2.085	0.45	1.642	0.65	1.334	0.85	1.099
0.26	2.059	0.46	1.624	0.66	1.321	0.86	1.088
0.27	2.032	0.47	1.606	0.67	1.308	0.87	1.078
0.28	2.006	0.48	1.589	0.68	1.295	0.88	1.067
0.29	1.980	0.49	1.572	0.69	1.282	0.89	1.057

219. Das Maximum der Arbeit, welche mit einem in 1 Sekunde verdampften Quantum Wasser S und einer bestimmten Spannung p im Kessel erreicht werden kann, ist in Pferdekräften

$$220\,S\left[D-\frac{h}{h'+0{,}05h}\cdot\frac{0{,}4300}{p+0{,}080}\right].$$

Die Geschwindigkeit, bei welcher dieß erreicht wird, der kleinstmöglichen für diese Dampfmenge und diese Spannung im Kessel ist

$$v=1{,}890\cdot\frac{h}{h'+0{,}05\,h}\cdot\frac{S}{a\,(p+0{,}080)}.$$

Wegen der Bezeichnungen sehe man die vorhergehende Nummer und Nr. 213.

Beispiel.

Ist die Pressung des Dampfes im Kessel 3,75 Atmosphären, also $p=3^{kil},874$, und nimmt man für die Größe der Absperrung

$$\frac{h'}{h}=0{,}10,$$

so erhält man aus der Tafel in Nr. 218

$$D=2{,}613 \text{ und } \frac{h}{h'+0{,}05\,h}=\frac{h}{0{,}1\,h+0{,}05\,h}=\frac{1}{0{,}15}=6{,}67.$$

Ist nun $S=0^{kil},1110$, so ist das Maximum des Effekts gleich

$$220\times0{,}1110\left[2{,}613-6{,}67\times\frac{0{,}4300}{3{,}874+0{,}080}\right]=46{,}0 \text{ Pferdekräfte.}$$

Ist aber $\frac{h'}{h}=0{,}25$, also

$$\frac{h}{h'+0{,}05\,h}=\frac{1}{0{,}30}=3{,}33 \text{ und } D=2{,}085,$$

so ist das Maximum des Effekts bei demselben Wasserverbrauch in der Sekunde gleich

$$220\times0{,}1110\left[2{,}085-3{,}33\times\frac{0{,}4300}{3{,}874+0{,}080}\right]=42{,}6 \text{ Pferdekräfte.}$$

Der Raum, den der Kolben in 1 Sekunde durchlaufen muß, wenn diese Leistung eintreten soll, ist

$$a\,v=1{,}890\times3{,}33\times\frac{0{,}1110}{3{,}874+0{,}080}=0^{mc},1769.$$

Wird die Maschine so wenig belastet, daß $a\,v=0^{mc},240$ wird, so ist $n\,a\,h=60\times0{,}240=14{,}40$ und der Effekt nach Nr. 218 gleich

$$220\times0{,}1110\times2{,}085-0{,}838\times14{,}40=39 \text{ Pferdekräfte.}$$

220. Das Maximum der Arbeit von 1 Kilogramm Steinkohlen ist bei diesen Maschinen

$$16500 \times m \left[D - \frac{h}{h' + 0{,}05\,h} \cdot \frac{0{,}4300}{p + 0{,}080} \right]^{km}$$

wo m die Zahl der mit 1 Kilogramm Steinkohlen verdampften Menge Wassers ist.

Für $m = 6$; $\frac{h'}{h} = 0{,}25$ und $p = 3^{kil},874$ erhält man die Arbeit von 1 Kilogramm Steinkohlen gleich 170577^{km}.

Hochdruckmaschinen mit Absperrung ohne Condensation.

221. Die Arbeit in Pferdekräften ist

$$248\,D\,S - 0{,}822\,n\,a\,h.$$

Die Bezeichnungen sind in Nr. 213 und 218 angegeben; D ist aus der Tafel in Nr. 218 zu nehmen.

222. Das Maximum der Arbeit bei gegebener Absperrung ist in Pferdekräften

$$248\,S \left[D - \frac{h}{h' + 0{,}05\,h} \cdot \frac{0{,}422}{p + 0{,}302} \right],$$

und die Geschwindigkeit, bei der dieß eintritt,

$$v = 2{,}123 \cdot \frac{h}{h' + 0{,}05\,h} \cdot \frac{S}{a\,(p + 0{,}302)}.$$

Beispiel.

Es sey $p = 6$ Atmosphären $= 6^{kil},198$; die Absperrung geschehe so, daß $\frac{h'}{h} = \frac{1}{6} = 0{,}17$ ist.

Damit wird

$$\frac{h}{h' + 0{,}05\,h} = \frac{1}{0{,}17 + 0{,}05} = 4{,}545 \text{ und}$$

D aus Nr. 218 gleich 2,336.

Bei der in 1 Sekunde verdampften Wassermenge $S = 0^{kil},0249$ ist das Maximum des Effekts

$$248 \times 0{,}0249 \left[2{,}336 - 4{,}545 \times \frac{0{,}422}{6{,}198 + 0{,}302} \right] = 12{,}6 \text{ Pferdekräft.}$$

Der von dem Kolben hierbei in 1 Sekunde durchlaufene Raum ist

$$a\,v = 2{,}123 \times 4{,}545 \times \frac{0{,}0249}{6{,}198 + 0{,}302} = 0^{mc},03696.$$

Ist dagegen der in 1 Sekunde vom Kolben durchlaufene Raum gleich $0^{mc},088$, so ist **n a h** $= 60 \times 0{,}088 = 5{,}280$ und die Arbeit nach Nr. 221

$248 \times 2{,}336 \times 0{,}0249 - 0{,}822 \times 5{,}280 = 10{,}1$ Pferdekräfte.

223. Die Arbeit von 1^{kil} Steinkohlen ist

$$18600 \times m \left[D - \frac{h}{h' + 0{,}05\,h} \cdot \frac{0{,}422}{p + 0{,}302} \right]^{km}.$$

Für **m** gleich 4 und $\frac{h'}{h} = 0{,}17$; $p = 6{,}198$ wie oben, wird die Arbeit von 1^{kil} Steinkohlen gleich 152000^{km}.

Dampfmaschinen zu Ausschöpfungen angewendet.

224. Sind die Dampfmaschinen zu Ausschöpfungen verwendet, so verursachen die passiven Widerstände, die Unterbrechungen der Arbeit, und die Verluste in den Pumpen, im Nutzeffekte der Maschinen, wenn dieser durch das Produkt aus dem Gewichte des gehobenen Wassers in die Höhe der Förderung gemessen wird, einen bedeutenden Ausfall, welcher durch die geringe Sorgfalt, mit der hier gewöhnlich die Maschinen unterhalten werden, sich noch vergrößert.

Nach zahlreichen Beobachtungen kann man die gewöhnlich in diesem Fall erhaltene Arbeit für verschiedene Arten von Maschinen nach folgender Tabelle schätzen.

System der Konstruktion der Maschinen.	Namen des Konstrukteurs.	Angebliche Zahl der Pferdekräfte.	Effekt für ein Kilogramm Steinkohlen.	Verbrannte Steinkohlen für jede Pferdekraft in einer Stunde.	Mittlere Spannung des Dampfes.	Bemerkungen.
			km	kil	atm	
Newcomen	"	44	21000	13	1,15	Mittleres Resultat von 4 Maschinen.
Watt, einfach wirkend . .	Const. Perier	80	38900	6,94	1,25	Pumpe von Chaillot.
		24	37715	7,10	1,15	Pumpe von Gros-Caillon.
Watt, doppelt wirkend . .	Watt, Boulton	70	36776	7,30	1,25	Mittleres Resultat von 8 Maschinen zu Anzin.
Woolf . . .	Edwards .	10—12	32970*	8,18	3,50	Mittlerer Effekt von 21 Maschinen zu Anzin.

*) Dieß Resultat, das weit unter dem gut bedienter Maschinen bleibt, zeigt, wie nothwendig es sey, in Gruben die einfachsten und größten Maschinen anzuwenden.

Zusammenstellung der vorstehenden praktischen Regeln.

225. Geht man die vorstehenden Resultate durch, so sieht man, wie bei guten Oefen, welche 6 bis 7 Kilogramm Dampf für jedes Kilogramm Steinkohlen geben, die Resultate der verschiedenen Systeme von Dampfmaschinen in folgender Art zusammengestellt werden können:

System der Maschinen.	Nutzeffekt für ein Kilogramm verbrannter Steinkohlen.		Verbrannte Kohlen für jede Pferdekraft und die Stunde.
	Gute Bedienung.	Gewöhnliche Bedienung.	
	km		
Mit niederm Druck, Watt'sche Maschinen ohne Absperrung und mit Kondensation . . .	54000	45000	5 bis 6^{kil}
Hoher Druck mit Absperrung und Kondensation	198000	90000	2,5 bis 3^{kil} meist aber 4
Hoher Druck mit Absperrung ohne Kondensation	93000	55000	4 bis 5
Hoher Druck ohne Absperrung und ohne Kondensation, feststehend	27000	21480	8 bis 10

Wir fügen hieran einige allgemeine Betrachtungen über die Vor- und Nachtheile der verschiedenen Systeme von Dampfmaschinen.

Vergleichung der verschiedenen Systeme von Dampfmaschinen.

Vor- und Nachtheile der Maschinen mit niederm Druck.

226. Die Maschinen mit niederm Druck haben folgende Vorzüge:

Ihre Konstruktion ist einfacher als die der andern; sie haben nur einen Kolben, und die durch die Reibung aufgezehrte Arbeit ist bei ihnen geringer als bei den Maschinen mit zwei Cylindern.

Da die Spannung geringer ist, so entweicht weniger Dampf, und in dieser Beziehung sind sie leichter zu unterhalten.

Die Gefahren oder noch mehr die Folgen der Explosionen sind hier minder bedeutend, weil der Dampf nur selten den atmosphärischen Druck weit übersteigt.

Ihre Uebelstände sind, daß sie bei gleicher Kraft größere Dimensionen erhalten, und folglich mehr wiegen, daß sie mehr Kohlen brauchen als die Maschinen mit Absperrung und Kondensation.

Sie erfordern wenigstens $0^{mc},780$ Wasser für jede Pferdekraft in der Stunde für die Kondensation und Dampferzeugung.

Vor- und Nachtheile der Maschinen mit Absperrung und Kondensation.

227. Die Maschinen mit Absperrung und Kondensation haben den Vortheil, im Mittel $^1/_3$ Brennmaterial weniger zu brauchen, als die Maschinen mit niederm Drucke.

Ihre Nachtheile sind, der zusammengesetztere Mechanismus ihrer Ventile, gewöhnlich der Gebrauch von zwei Kolben, die Nothwendigkeii größerer Aufmerksamkeit auf die Verbindungen, welche um so leichter den Dampf entweichen lassen, je höher die Spannung im Kessel ist und je länger die Absperrung dauert.

Sie erfordern wenigstens $0^{mc},295$ Wasser für die Pferdekraft in einer Stunde zur Kondensation und Dampfbildung.

Vor- und Nachtheile der Maschinen mit Absperrung und ohne Kondensation.

228. Die Hochdruckmaschinen mit Absperrung, ohne Kondensationen haben folgende Vorzüge:

Sie erfordern nur das Wasser zur Dampfbildung.

Bei gleicher Kraft ist ihr Gewicht und ihr Volumen kleiner als bei den vorhergehenden.

Ihre Nachtheile sind, mehr Kohlen zu brauchen als die Hochdruckmaschinen mit Absperrung und Kondensation, mehr Aufmerksamkeit auf die Verbindungen und die Unterhaltung zu erfordern, um Dampfverlust zu vermeiden, der um so bedeutender ist, je höher die Spannung im Kessel ist; Dampf von wenigstens 4 bis 5 Atmosphären Druck zu verlangen, da der Verlust an Kraft durch das Ausströmen des Dampfes in die Luft um so bedeutender ist, je geringer die Spannung im Kessel. Daher rührt dann eine größere Gefahr der Zerstörung bei Explosionen.

Vor- und Nachtheile der Hochdruckmaschinen ohne Absperrung und ohne Kondensation.

229. Die Hochdruckmaschinen ohne Absperrung und ohne Kondensation haben nur den Vortheil, weniger Gewicht zu haben und weniger Raum einzunehmen, als die Maschinen der andern Systeme.

Ihre Nachtheile sind, viel mehr Kohlen zu verzehren; viel Aufmerksamkeit auf die Verbindungen und die Bedienung zu erfordern; gefährlich in den Folgen der Explosionen zu seyn.

Folgerungen über die Wahl eines Systems.

230. Aus dieser Zusammenstellung folgt, wie uns dünkt:

1) Daß man bei Anstalten, wo das Brennmaterial nicht theuer ist, Maschinen mit niederm Drucke vorziehen könne.

2) Das dort, wo das Brennmaterial theuer ist, und wo man Sorgfalt auf die Unterhaltung der Maschinen verwenden kann, man Maschinen mit Absperrung und Kondensation anwenden soll, und besonders Maschinen nach der neuen Konstruktion mit einem Cylinder.

3) Daß auf Dampfschiffen, wenn man gute Arbeiter zur Bedienung der Maschinen hat, es Vortheile in der Beladung des Schiffes gewähren kann, Hochdruckmaschinen mit Absperrung und ohne Kondensation anzuwenden.

4) Daß bei Lokomotivmaschinen die Bedingungen des kleinsten Gewichtes und Raumes zu dem Gebrauche der Hochdruckmaschinen mit oder ohne Ausdehnung und ohne Kondensation führen.

Wir haben in vorstehender Vergleichung keine Rücksicht auf die größere oder geringere Regelmäßigkeit im Gange der Maschinen genommen, weil man durch das Schwungrad die Mittel hat, den erforderlichen Grad von Regelmäßigkeit zu erhalten.

Verhältnisse der Kessel, Oefen, Roste ꝛc.

231. Wir glauben, diesem Kapitel einige praktische Regeln anfügen zu müssen, welche die berühmtesten englischen Konstrukteure über die Verhältnisse der verschiedenen Theile des Apparats zur Dampferzeugung befolgen. Wir entnehmen diese aus der Abhandlung über die Dampfmaschinen von Farey, welcher sie

sowohl aus den von Watt gegebenen und befolgten Regeln, als aus der Beobachtung der von andern Ingenieuren befolgten, abgeleitet hat.

Kessel.

Die Heizfläche der Kessel bei Maschinen mit niederm Druck soll seyn

$1^{mq},395$ bis $1^{mq},674$ für jede Pferdkraft der Maschinen oder

1^{mq} Heizfläche um zu verdampfen { $0^{mc},000635$ Wasser in 1′ / $0^{mc},038$ in 1 Stunde.

1^{mq} Heizfläche um zu erzeugen $1^{mc},021$ Dampf von 1 Atmosphäre ungefähr in 1 Minute.

Die ganze Oberfläche des Rostes im Feuerherde soll seyn

$0^{mq},062$ bis $0^{mq},077$ für jede Pferdkraft der Maschine oder

1^{mq} um in 1 Stunde 68^{k} Steinkohlen der besten Art zu verbrennen.

Bei Holz muß man 1^{mq} Rostfläche für 350 Kilogramm Holz nehmen.

Die leeren Zwischenräume müssen bei Steinkohlen etwa $^1/_7$ der ganzen Rostfläche ausmachen; bei Holz $^1/_4$.

Die Schichte Steinkohlen auf dem Roste soll $0^{m},05$ bis höchstens $0^{m},08$ dick seyn.

Die ganze Länge des Rostes soll etwa $^1/_3$ der Länge des Kessels seyn.

Die freie Fläche von dem Roste bis zum Mittel des concaven Kesselbodens soll $0^{m},48$ bis $0^{m},60$ seyn; an den Rändern nur $0^{m},28$ bis $0^{m},36$.

Die Brücke am Roste soll $0^{m},33$ bis $0^{m},38$ vom Mittel des Kesselbodens entfernt seyn oder $0^{m},15$ bis $0^{m},22$ über den Rost sich erheben, und für die Flamme einen Durchgang lassen, der $^1/_3$ der Rostfläche groß ist.

Der Querschnitt der Züge soll $^1/_5$ der Rostfläche seyn.

Der Querschnitt der Esse $^1/_6$ der Rostfläche.

Die Höhe der Essen ändert sich von 18 bis zu 36 Metern.

Die Wandstärke der Kessel ist in Preußen durch eine königliche Verordnung vom 6. Mai 1838, wie folgt, festgestellt:

A. Für diejenigen Theile des Kessels, welche den Druck der Dämpfe auf ihrer innern Oberfläche zu erleiden haben.

a. Bei Eisenblech oder Kupferblech an Stellen, die wenigstens (15′) $4^m,71$ vom Feuerplatze entfernt sind, ist die erforderliche Wandstärke gegeben durch

$$e = 0{,}003\ (n-1)\ r + 0{,}0026\ *),$$

wo e die Wandstärke,

r den Halbmesser des Kessels beide in Meter,

n die Zahl der Atmosphären Druck des Dampfes im Kessel bedeutet.

Für die vom Feuer berührten Bleche an den Kesselböden und Siederöhren, welche dem Feuerplatze näher liegen, sind die in dieser Formel angegebenen Stärken

1) wenn die Entfernung vom Feuerplatze $1^m,57$ bis $1^m,47$ beträgt, 1,2 mal,
2) für Entfernungen bis zu $1^m,57$ aber 1,5 mal und
3) für Siederöhren, die rings vom Feuer umgeben sind, 1,6 mal zu nehmen.

b. Bei Siederöhren aus gewalztem oder gehämmertem Messingblech muß die Wandstärke durchaus das Doppelte von dem seyn, was die Formel gibt.

c. Siederöhren aus Gußeisen werden ebenfalls durchaus gleich stark; die Dicke der Kesselwand ist

$$e = 0{,}01\ (n-1)\ r + 0{,}009 \text{ Meter.}$$

B. Für die durch den Kessel gehenden Feuer- oder Rauchröhren, welche den Druck der Dämpfe auf ihrer äußeren Seite zu erleiden haben.

a. Bei Eisenblech ist die Dicke gegeben durch

$$e = 0{,}0134\ .\ r\ .\ \sqrt[3]{n-1} + 0{,}0013 \text{ Meter.}$$

Die Verstärkungen wie oben unter A. a.

---

*) In der angeführten Verordnung heißt die Formel mit obigen Bezeichnungen

$$e = r\ (b^{0{,}003\ (n-1)} - 1) + 0{,}1,$$

wo alle Maaße in preußischen Zollen zu verstehen sind, und b die Basis der natürlichen Potenzen und Logarithmen bedeutet. In den Grenzen der Praxis fällt obige Formel mit dieser zusammen.

b. Bei Messingblech durchaus

$$e = 0{,}02\, r \,.\, \sqrt[3]{n-1} + 0{,}0018 \text{ Meter.}$$

Ein Kessel von $1^m{,}5$ Durchmesser erhält hiernach bei 4 Atmosphären Spannung der Dämpfe die Wandstärken $0^m{,}0094$; von $1^m{,}57$ bis $4^m{,}71$ am Boden $0^m{,}0113$ und zunächst über dem Feuer $0^m{,}0140$.

Einfluß der Form des Kessels.

232. Die Form der Kessel und ihre Anordnung scheint keinen so großen Einfluß zu haben, als man gewöhnlich zu glauben versucht ist.

Die Watt'schen, sogenannten Wagenkessel, die Kessel von Woolf, mit cylindrischen Kochröhren von Eisenblech, die von Stephenson, mit inliegendem Feuerherd und Röhren zur Circulation der Flamme, liefern alle ungefähr 6 Kilogramm Dampf mit 1 Kilogramm verbrannter Steinkohle.

Ist die Kohle sehr gut, und das Feuer sehr gut bedient, so kann man bis zu 7 Kilogramm Dampf mit 1 Kilogramm Steinkohle erhalten.

Die Kessel mit Kochröhren bieten bei geringerem Volum und geringeren Kosten eine größere Heizfläche als die Wattschen dar.

In der nämlichen Beziehung haben die Kessel mit innerer Feuerung und Circulationsröhren Vortheile vor den beiden andern Arten.

Praktische Regeln von Watt für die Konstruktion der Dampfmaschinen.

233. Die nachstehenden Regeln für Maschinen von niederm Druck schließen sich an die von Watt und seinen Nachfolgern gebrauchten Verhältnisse an; wir haben es für nützlich erachtet, sie hier aufzuzählen. Wir bemerken aber dabei, daß sie weislich für ziemlich schlecht unterhaltene Maschinen berechnet sind, und daß so proportionirte Maschinen eine größere Kraft ausüben können, als die, für welche sie verkauft wurden.

Dampfcylinder.

Der Durchmesser **D** des Dampfcylinders wird in Metern nach folgender Formel erhalten:

$$D = \sqrt{\frac{0{,}01986\,n}{v}},$$

wobei n die Zahl der Pferdekräfte der Maschine, und
v die Geschwindigkeit des Kolbens in Metern bedeutet.

Kolbenhub.

Die Länge des Kolbenhubs soll zwischen 3 und 2mal den Durchmesser des Cylinders enthalten seyn; die Geschwindigkeit des Kolbens soll seyn

m m
0,90 bis 1 in 1″ für Maschinen von 4 bis 20 Pferdekräfte.
1,00 „ 1,20 „ „ „ „ „ 20 „ 30 „
1,20 „ 1,25 „ „ „ „ „ 30 „ 60 „
1,25 „ 1,30 „ „ „ „ „ 60 „ 100 „

Folgende Tafel enthält die Resultate dieser Regeln, verglichen mit den von Watt gebrauchten Dimensionen.

Pferdekräfte.	Kolbenhub.	Geschwindigkeit des Kolbens.	Durchmesser des Cylinders		Zahl der Kohlenhübe oder der Umdrehungen des Schwungrades in 1′.
			nach der Formel.	gegeben von Watt.	
	m	m	m	m	
4	0.914	0.884	0.300	0.305	29.0
6	1.068	0.960	0.352	0.355	27.0
8	1.200	0.975	0.404	0.407	24.0
10	1.220	1.015	0.441	0.444	25.0
12	1.220	1.015	0.484	0.483	25 0
14	1.220	1.015	0.528	0.522	25.0
16	1.416	1.086	0.541	0.552	23.0
18	1.416	1.086	0.574	0.585	23.0
20	1.520	1.090	0.604	0.602	21.5
22	1.520	1.090	0.633	0.635	21.5
24	1.520	1.090	0.661	0.661	21.5
26	1.678	1.118	0.680	0.680	20.0
28	1.678	1.118	0.706	0.705	20.0
30	1.800	1.140	0.712	0.718	19.0
36	1.800	1.140	0.772	0.784	19.0
40	2.135	1.244	0.802	0.800	17.5
45	2.135	1.244	0.850	0.847	17.5
50	2.135	1.244	0.896	0.893	17.5
60	2.135	1.244	0.982	0.978	17.5
70	2.440	1.300	1.033	1.036	16.0
80	2.440	1.300	1.105	1.105	16.0
90	2.440	1.300	1.172	1.172	16.0
100	2.440	1.300	1.235	1.232	16.0

Volum Wasser zu verdampfen.

Das Volum Wasser, das verdampft werden muß, ist
$0^{mc},00055$ in 1′ für jede Pferdskraft, oder
$0^{mc},0330$ in 1 Stunde.

Anmerkung. Die Formel in Nr. 217 gibt nur $0^{mc},00047$ in der Minute; der Ueberschuß, welchen die Watt'sche Regel gibt, dient dazu, den Dampfverlust durch das Entweichen und die Condensation in den Leitröhren zu ersetzen.

Dampfröhre.

Der Durchmesser der Röhre, welche den Dampf vom Kessel zum Cylinder führt, soll $^1/_5$ von dem des Cylinders seyn; ihr Querschnitt beträgt daher $^1/_{25}$ von der Kolbenfläche.

Zuleitungsventil.

Die Fläche dieses Ventils soll
$0^{mq},000507$ für jede Pferdskraft seyn.

Auslaßventil.

Die Fläche des Ventils, durch das der Dampf in den Kondensator tritt, soll $0^{mq},000768$ für jede Pferdskraft betragen.

Diese Ventile sollen sich vollständig öffnen, und die Röhren, welche an ihnen enden, etwas weiter seyn.

Luftpumpe.

Der Durchmesser dieser Pumpe beträgt $^2/_3$ von dem des Cylinders. Der Kolbenhub ist die Hälfte vom Hub des Dampfkolbens. Die freie Durchgangsfläche bei ihren Ventilen soll $^1/_4$ von dem Querschnitt der Luftpumpe oder $^1/_9$ von der Fläche des Dampfkolbens seyn.

Kaltwasserpumpe.

Der Raum, den der Kolben dieser Pumpe bei einem einfachen Gang beschreibt, soll $^1/_{24}$ bis $^1/_{18}$ vom Inhalte des Dampfcylinders seyn.

Anmerkung. Findet sich das zu hebende Wasser in geringer Tiefe, so daß man nicht fürchten muß, die Maschine zu überladen, oder wenn diese zuweilen über den Nennwerth ihrer Kraft arbeiten muß, so ist es gut, diese Proportion etwas zu vergrößern.

Injektionshahnen.

Die gewöhnliche Oeffnung dieses Hahnens soll $0^{mq},0000322$ für die Pferdskraft seyn, doch soll er so groß seyn, daß man ihn bis zu $0^{mq},000043$ für jede Pferdskraft öffnen kann.

Speisebehälter.

Der Wasserspiegel im Speisebehälter soll $2^{m},44$ über der Oberfläche des Wassers im Kessel stehen.

Sicherheitsventil.

Die Fläche dieses Ventils soll $0^{mq},0004056$ für jede Pferdskraft betragen; der Druck auf diese Ventile soll $0^{kil},91$ für jede Pferdskraft seyn.

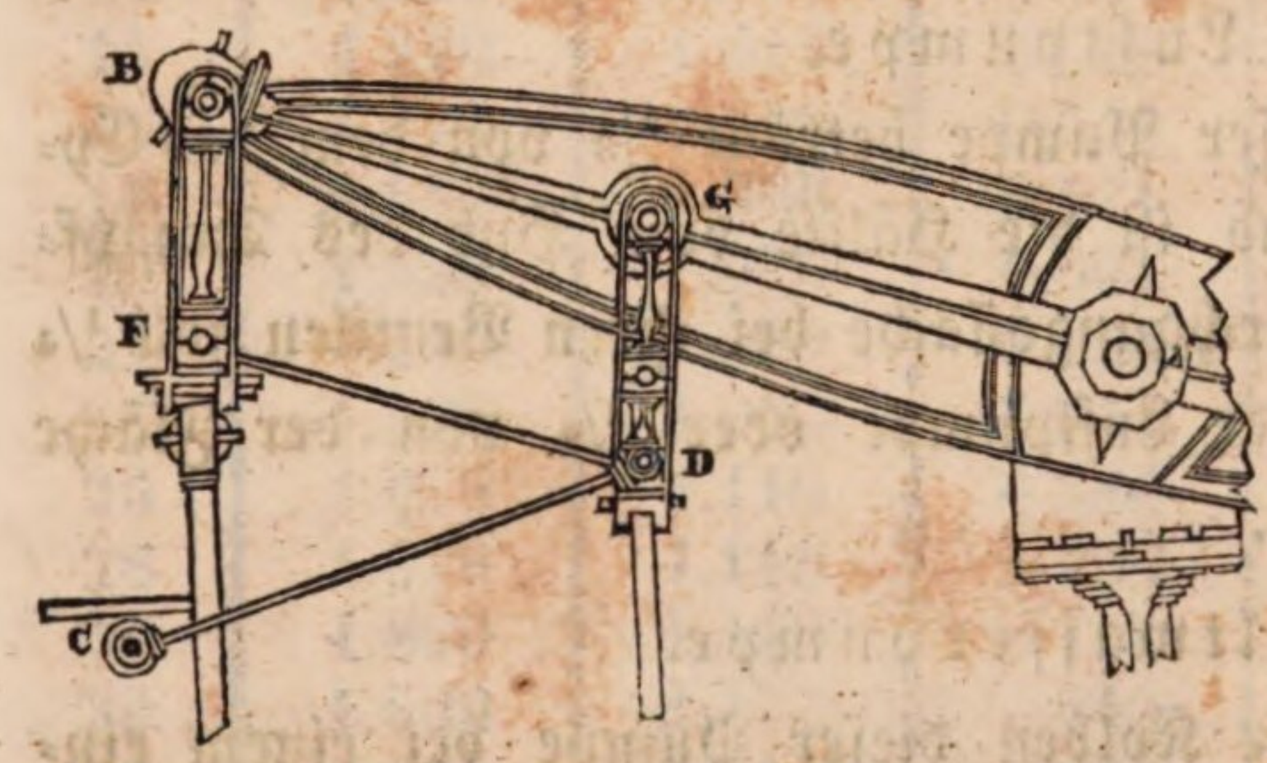
Balancier.

Die horizontale Entfernung zwischen dem Mittelpunkte des Kolbens und der Axe der Kurbel soll dem dreimaligen Kolbenhub gleich seyn.

Die Entfernung zwischen den Axen an beiden Enden des Balanciers soll 3,0825 mal so groß seyn als der Kolbenhub.

Parallelogramm.

Fig. 35.



Die Axe **G** soll in der Mitte des halben Balanciers **A B** liegen. Die Länge der Bügel **B F** und **G D** soll $^1/_2$ bis $^3/_7$ von dem Kolbenhub seyn.

Watt stellte den Drehpunkt der Stange **C D** in die Vertikale durch die Axe des Kolbens in die Höhe der halben Sehne des von **D** beschriebenen Bogens.

Die vier Bügel des Parallelogramms sollen einen Gesammtquerschnitt von $^1/_{144}$ der Fläche des Kolbens haben; die Schienen, aus denen sie gebildet sind, haben in der Breite $^1/_{12}$ vom Durchmesser des Kolbens, in der Dicke $^1/_{48}$. Die Axen, um welche

die Bügel gehen, sollen einen Querschnitt von $^1/_{262}$ der Kolbenfläche haben.

Kolbenstange.

Die Kolbenstange von Schmiedeisen soll einen Durchmesser gleich $^1/_{10}$ des Kolbendurchmessers haben. Dieß entspricht einer Belastung von 98^k höchstens auf den Quadratcentimeter.

Für große Maschinen kann man ihn schwächer machen.

Kurbelstange.

Die Kurbelstange soll dreimal so lang seyn als der Kolbenhub oder sechsmal so groß als die Länge der Kurbel.

Der Querschnitt der gußeisernen Stange soll $^1/_{28}$ von der Kolbenfläche betragen, was höchstens 35^k Belastung auf 1 Quadratcentimeter Querschnitt beträgt. Diese Stange hat Rippen und zeigt in der Mitte den Querschnitt Fig. 36. Die Seiten des umschriebenen Quadrats sind gleich $^1/_{20}$ der Länge der Stange.

Fig. 36.

Die Enden der Kurbelstange haben $^1/_{35}$ von der Kolbenfläche zum Querschnitt, was eine größte Belastung von ungefähr 44^k für den Quadratcentimeter gibt.

Schwungrad.

Der Durchmesser des Schwungrades soll 3 bis 4mal so groß als der Kolbenhub seyn, wenn es auf der Axe der Kurbel angebracht ist. Sein Gewicht wird nach Nr. 235 bestimmt.

Schwungräder.

Zweck der Schwungräder.

234. Schwungräder haben den Zweck, die Bewegung der Maschinen gleichförmig zu machen, und die periodischen Veränderungen ihrer Geschwindigkeiten in genügende Grenzen einzuschließen.

Man soll sie also nur in folgenden drei Fällen anwenden:

1) Wenn die bewegende Kraft eine periodisch sich ändernde Geschwindigkeit hat, wie bei den Dampfmaschinen, den durch Menschen bewegten Kurbeln u. dgl.

2) Wenn der Widerstand, die Last, periodisch veränderlich ist, oder nur nach Unterbrechungen wirkt, wie bei den Walz- und Hammerwerken, den Sägmühlen ꝛc.

3) Wenn Kraft und Last zugleich veränderlich oder intermittirend sind.

Das Schwungrad soll man so nahe als möglich an den Maschinentheil bringen, dessen Bewegung veränderlich ist.

Der Grad der Gleichförmigkeit, den das Schwungrad hervorbringen soll, hängt von dem Zweck ab, von der Natur der gebrauchten Werkzeuge, der zu erhaltenden Produkte ꝛc.

Um die Aufgabe der Anordnung von Schwungrädern zu erleichtern, vernachläßigt man gewöhnlich den regulirenden Einfluß der Arme, und bestimmt nur das Gewicht, das man dem Ringe geben muß.

Nennt man

a die Breite des Rings, parallel mit der Axe der Umdrehung,
b seine Dicke, nach dem Radius gemessen,
R den Radius bis in die Mitte des Rings,
so ist das Gewicht des gußeisernen Rings

$$\mathbf{P} = 45239\ \mathbf{a}\ \mathbf{b}\ \mathbf{R}.$$

Oertliche Betrachtungen und Betrachtungen der Maschine insbesondere, dienen gewöhnlich, den Radius des Schwungrads zu bestimmen, den wir in den folgenden Formeln als bekannt voraussetzen; aber darauf wollen wir hier aufmerksam machen, daß man ihn so groß als möglich machen soll, ohne jedoch eine Grenze zu überschreiten, bei welcher die Geschwindigkeit am Umfange so groß würde, daß die Centrifugalkraft gefährlich wäre. Diese Geschwindigkeit kann bis zu 25 und 30 Meter in der Sekunde steigen, ohne aber darüber hinaus zu gehen.

Schwungräder bei Dampfmaschinen.

235. Bei Dampfmaschinen mit niederm Drucke und Hochdruckmaschinen mit Absperrung und Kondensation bestimmt man das Schwungrad nach der Formel:

$$\mathbf{P}\,\mathbf{V}^2 = \frac{4645\,\mathbf{n}}{\mathbf{m}}\,\mathbf{N},$$

in welcher bedeutet:

P das Gewicht des Rings,
V die Geschwindigkeit des mittleren Kreises,
m die Zahl der Umdrehungen in 1 Minute,
N die Zahl der Pferdekräfte der Maschine,
n eine Zahl, welche mit dem gewünschten Grad von Gleichförmigkeit sich ändert; man nimmt

n = 20 bis 25 für Dampfmaschinen, bei denen eine große Gleichförmigkeit nicht erfordert wird, wie bei solchen, die zur Bewegung von Mahl- und Sägmühlen, Pumpen ꝛc. benutzt werden.

n = 35 bis 50 bei Spinnereien, wo man Garn von Nr. 40 bis 60 fabrizirt.

n = 50 bis 60 für Spinnereien, in denen man sehr feine Garne herstellt.

Beispiel.

In der Spinnerei zu Logelbach, bei Colmar, hat die Dampfmaschine von niederm Druck und 40 Pferdekräften ein Schwungrad, das 18 bis 20 Umdrehungen in 1 Minute macht.

Die gesponnenen Garne sind von den Nummern 40 bis 60.

Der mittlere Durchmesser des Schwungrades hat $6^m,10$, die Geschwindigkeit in diesem Kreise ist daher bei 19 Umdrehungen

$$\frac{3,14 \times 6,10 \times 19}{60} = 6^m,06.$$

Die Formel gibt nun das Gewicht des Schwungrings, wenn man $\mathbf{N} = 35$ nimmt

$$\mathbf{P} = \frac{4645 \times 35 \times 40}{19\,(6,06)^2} = 9320^k.$$

Die Erbauer, Watt und Boulton, haben genommen

$$\mathbf{P} = 9450^k.$$

Schwungrad bei einem Stirnhammer.

236. Die Stirnhämmer thun gewöhnlich 70 bis 80 Schläge in 1′, und ihr Gewicht, das des Helms inbegriffen, wechselt zwischen 3000 und 4900 Kilogramm.

Man berechnet das Gewicht des Schwungrings, der auf die Daumenwelle zu bringen ist, nach folgenden Formeln:

Hämmer von $\begin{cases} \text{3000 bis 3500}^{kil} \ldots\ldots \mathbf{P} = \frac{20000}{R^3} \\ \text{4000 bis 4900}^{kil} \ldots\ldots \mathbf{P} = \frac{30000}{R^3} \end{cases}$

R ist der mittlere Radius des Schwungrings in Metern.

Beispiel.

Ein Hammer wiegt mit seinem Helm 3165 Kilogramm; auf seiner Daumenwelle ist ein Schwungrad von $2^m,15$ mittlerem Radius angebracht, wie schwer muß der Schwungring seyn?

Die Formel gibt

$$\mathbf{P} = \frac{20000}{(2,15)^3} = 4329^{kil}.$$

Bei dem Stirnhammer zu Framont, der mit hinreichender Gleichförmigkeit geht, ist ein Schwungrad von $2^m,15$ Radius und nur 4230^{kil} Gewicht angebracht.

Schwungrad für einen Aufwerfhammer mit Vorgelege.

237. Die Aufwerfhämmer wiegen mit Einschluß des Helms und der Hülse 600 bis 800 Kilogramm; sie thun gewöhnlich bei ihrer großten Geschwindigkeit 100 bis 110 Schläge in 1′.

Man berechnet das Gewicht des Schwungrings auf der Daumenwelle nach der Formel

$$\mathbf{P} = \frac{15000}{R^3}.$$

Beispiel.

Wie schwer muß ein Schwungring seyn, der auf die Daumenwelle eines Aufwerfhammers gebracht werden soll, wenn sein Radius $= 1^m,65$ ist?

Die Formel gibt

$$\mathbf{P} = \frac{15000}{(1,65)^3} = 5514^{kil}.$$

Bei dem Hammer der Neumühle zu Moyeuvre wiegt der Schwungring etwa 5150 Kilogramm bei dem angegebenen Radius.

Schwungrad für einen Schwanzhammer mit Vorgelege.

238. Man gebraucht in den Schmieden Schwanzhämmer von verschiedener Größe, je nach dem Zweck, für den sie bestimmt sind. Sie thun gewöhnlich 150 bis 200 Schläge in der Minute.

Man bestimmt das Gewicht des Schwungrings, der auf die Daumenwelle kommt, nach der Formel

$$\text{Schwanzhämmer von} \begin{cases} 500^{kil} \ldots\ldots\ldots \mathbf{P} = \frac{9000}{R^2} \\ 360^{kil} \ldots\ldots\ldots \mathbf{P} = \frac{6000}{R^2} \end{cases}$$

In den Gewichten der Hämmer sind die der Helme, der Hülsen und so fort inbegriffen.

Beispiel.

Für einen Hammer von 360 Kilogramm erhält man hiernach bei dem mittlern Radius $= 1^m,50$, das Gewicht des Schwungrings

$$\mathbf{P} = \frac{6000}{(1,50)^2} = 2666^{kil}.$$

Schwungrad bei einer Sägmühle.

239. Bei Sägen mit einem Blatt, zum Zerschneiden dicker Hölzer bestimmt, welche 80 bis 90 Schnitte in 1′ machen, genügt es, das Gewicht des Schwungrads, das auf der Axe der Kurbel angebracht wird, nach folgender Formel zu bestimmen.

$$\mathbf{P} = \frac{30000}{V^2},$$

wo **V** die mittlere Geschwindigkeit der Mitte des Rings bedeutet.

Dieses Gewicht kann in zwei Räder, welche auf beiden Seiten des Gatters angebracht sind, vertheilt werden.

Man muß ferner an den Schwungring in der Verlängerung des Kurbelarms ein Eisen- oder Bleigewicht anhängen, welches als Gegengewicht des Sägegatters dient. Handelt es sich um eine Säge mit einem Blatt, wo das Gatter höchstens 400 Ki-

logramm wiegt, so kann man dieß Gegengewicht hinreichend genau nach der Formel

$$p = \frac{65}{r} \text{ Kilogramm bestimmen,}$$

wo p die Größe des Gegengewichts, und
r die Entfernung seines Schwerpunkts von der Axe des Schwungrads bedeutet.

Beispiel.

Eine Säge mit einem Blatt thut 88 Schnitte in 1′; es soll ein Schwungrad von $0^m,76$ Radius angebracht werden, wie schwer muß dieses werden?

Man hat

$$V = \frac{88}{60} \times 6,28 \times 0,76 = 7^m,02$$

und die Formel gibt

$$P = \frac{30000}{49,28} = 609^{kil}.$$

Die beiden Schwungräder einer vor 10 oder 12 Jahren in Metz erbauten Sägmühle, welche mit aller wünschenswerthen Gleichförmigkeit geht, wiegen nur 512 Kilogramm. Allein gewöhnlich nimmt man diese Schwungräder stärker, und wir glauben nicht, daß unsere Formel zu übertriebenen Resultaten führe.

Das Gegengewicht in dem mittlern Umfang des Schwungrads, dem Krummzapfen gegenüber, wird nach obiger Formel gleich

$$p = \frac{65}{0,70} = 85^{kil}.$$

Bemerkungen über Sägen mit mehreren Blättern.

240. Sollen die Gatter mehrere Blätter aufnehmen, so können das Schwungrad und das Gegengewicht um so leichter seyn, je mehr Blätter da sind. Allein da die Säge nothwendig zuweilen nur mit einem Blatt schneiden muß, so ist es passend, das Schwungrad in allen Fällen nach der vorhergehenden Nummer zu bestimmen.

Walzwerke für große Blech- und Eisenwaaren.

241. Für diese Anstalten bestimmt man das Gewicht des Schwungrings nach der Formel

$$P = \frac{9000\,N\,K}{V^2},$$

in welcher bedeutet:

P das gesuchte Gewicht,

N die Zahl der Pferdekräfte, welche vom Beweger auf die Welle des Schwungrads fortgepflanzt wird,

V die mittlere Geschwindigkeit der Mitte des Schwungrings,

K ein Coefficient. Man nimmt

K = 4 für Maschinen von 80 bis 100 Pferdekräften, welche zu gleicher Zeit 6 bis 8 Cylinderpaare zu Blech- oder Eisenwaaren umtreiben.

K = 5 für Maschinen von 60 Pferdekräften, welche 4 bis 6 Cylinderpaare zu Stabeisen umtreiben.

K = 20 für Maschinen von 30 bis 40 Pferden, welche nur ein Cylinderpaar zu dickem Blech oder zwei zu Feineisen bewegen.

Erstes Beispiel.

Eine Maschine von 60 Pferdekräften bewegt 6 Paar Cylinder zu Stabeisen; es soll unter folgenden Umständen das Gewicht des Schwungrings angegeben werden.

Durchmesser des Schwungrings . . . . . $5^m,84$

Zahl der Umläufe des Schwungrads und der Walzen in 1′ . . . . . $m = 60$

Geschwindigkeit der Mitte des Schwungrings . $V = 18^m,4$

Die Formel gibt, wenn man $K = 5$ setzt

$$P = \frac{9000 \times 60 \times 5}{(18,4)^2} = 7990^{kil}.$$

Die Dimensionen und die Geschwindigkeit dieses Beispiels sind die des Eisenwerks von Fourchambault, wo die Maschine bewegt

4 Paar Präparirwalzen, } für Grobeisen,
4 „ Fertigmacher, }

4 „ Präparirwalzen, } für Kleineisen,
4 „ Fertigmacher, }

von denen ungefähr 6 zu gleicher Zeit im Gange sind. Das Schwungrad wiegt 8000 Kilogramm.

Zweites Beispiel.

Bei einer Eisenhütte treibt ein Wasserrad von 36 Pferdekräften ein Walzenpaar für Grobeisen und eines für Feineisen; wie schwer muß der Schwungring seyn?

Durchmesser des Schwungrades . . . . . 9^m
Zahl der Umläufe des Rades und der Cylinder in 1′ 60
Geschwindigkeit der mittlern Peripherie des Rings $V = 28^m,26$.
Die Formel gibt

$$P = \frac{9000 \times 36 \times 20}{(28,26)^2} = 8110^{kil}.$$

Eine Hütte hat unter denselben Umständen einen Schwungring von 9000 Kilogramm; allein es ist zu glauben, daß dieser unnöthig schwer sey.

Anmerkung. Man begreift leicht, wie das Schwungrad um so leichter seyn kann, je kräftiger der Beweger ist, vorausgesetzt, daß von der Zahl der Cylinderpaare nur eines oder zwei zugleich arbeiten.

Die vorstehende Formel kann auch angewendet werden, wenn die Maschine abwechselnd ein Cylinderpaar und einen Stirnhammer bewegt.

Bemerkung über den Gebrauch dieser Formeln.

242. Die vorstehenden Werthe von K passen für Walzwerke, die durch Dampfmaschinen, oberschlächtige oder durch mittelschlächtige Wasserräder bewegt werden; ist das bewegende Rad aber eines mit ebenen Schaufeln oder ein Poncelet-Rad, das sehr schnell geht, so kann man K etwas kleiner nehmen.

Von den wichtigsten Arten der Mittheilung der Bewegung.

Von Schnüren und Riemen.

243. Man bedient sich zur Fortpflanzung der Bewegung von einer Rotationsaxe zur andern davon entfernten häufig schwarzer, lederner Riemen, die über Rollen oder Trommeln gehen. Die Theorie und Erfahrung *) zeigen:

1) Sind diese Riemen gehörig gespannt, so gleiten sie nicht, und pflanzen die Geschwindigkeit in einem konstanten Verhältnisse, im umgekehrten von dem der Durchmesser beider Trommeln fort.

2) Bei der Fortpflanzung der Bewegung von einer Axe zur andern durch Seile oder Riemen ohne Ende ist die Summe der Spannungen beider Seilstücke konstant, um was das ziehende Stück mehr gespannt wird, um so viel wird das andere schlaffer, so daß die Summe der Spannungen beider Seilstücke dieselbe wie in Ruhe ist.

3) Die Kraft **T**, welche erfordert wird um einen Riemen von der Spannung **t** im gezogenen Stück über eine Trommel oder ein Seil im Schnurlauf einer Rolle gleiten zu machen, ist durch die Formel

$$\log T = \log t + 0{,}434\, f \frac{S}{R}$$

gegeben, in welcher die Logarithmen die gewöhnlichen sind, und in der **f** den Reibungscoefficient für den Riemen auf der Rolle bedeutet, welcher, Versuchen zufolge, gleich

0,47 für gewöhnlich fette Riemen auf hölzernen Trommeln ist,
0,50 für neue Riemen auf hölzernen Trommeln,

*) Expériences sur le frottement des axes de rotation, et les variations de tension et le frottement des courroies de transmission du mouvement etc.; faites à Metz en 1834, par A. Morin, capitaine d'artillerie.

0,28 für gewöhnlich fette Riemen auf gußeisernen Rollen,
0,38 für feuchte Riemen auf gußeisernen Rollen,
0,50 für Hanfseile auf hölzernen Rollen oder Trommeln ist.
S ist der umschlungene Bogen der Trommel oder Rolle, und **R** der Halbmesser desselben.

Anmerkung. Diese Formel zeigt, wie es unnütz ist, den Halbmesser der Rollen unmäßig zu vergrößern, um das Gleiten der Riemen zu hindern.

4) Der Widerstand, den ein Riemen dem Gleiten entgegensetzt, ist unabhängig von seiner Breite, und es gewährt keine Vortheile, diese weiter zu vergrößern, als der Festigkeit des Riemens wegen erforderlich ist (siehe Nr. 298).

244. Um die Rechnung abzukürzen, dient folgende Tafel, in welcher der Coefficient **k** der Formel

$$T = k\,t$$

zu finden ist.

Verhältniß des umschlungenen Bogens zum ganzen Umfange.	Werthe von k.					
	Neue Riemen auf Trommeln von Holz.	Gewöhnliche Riemen auf Holz.	Gewöhnliche Riemen auf Eisen.	Feuchte Riemen auf Eisen.	Schnüre auf Rollen von Holz rauh.	Schnüre auf Rollen von Holz polirt.
0.20	1.87	1.80	1.42	1.61	1.87	1.51
0.30	2.57	2.43	1.69	2.05	2.57	1.86
0.40	3.51	3.26	2.02	2.60	3.51	2.29
0.50	4.81	4.38	2.41	3.30	4.81	2.82
0.60	6.59	5.88	2.87	4.19	6.58	3.47
0.70	9.00	7.90	3.43	5.32	9.01	4.27
0.80	12.34	10.62	4.09	6.75	12.34	5.25
0.90	16.90	14.27	4.87	8.57	16.90	6.46
1.00	23.14	19.16	5.81	10.89	23.90	7.95
1.50					111.31	22.42
2.00					535.47	63.23
2.50					2575.80	178.52

Erstes Beispiel.

Welche Spannung erleidet das ziehende Stück eines gewöhnlichen Riemens, ehe es anfängt über eine hölzerne Trommel zu gleiten, wenn im gezogenen Stücke die Spannung 50^{kil} ist, und die Hälfte des Umfangs umschlungen ist?

Die Tafel gibt $k = 4{,}38$, es ist also

$$T = 4{,}38 \times 50 = 219^{kil}$$

die gesuchte Spannung.

Zweites Beispiel.

Mit welcher Anstrengung hält ein Küfer ein Faß Wein, welches über eine geneigte Ebene hinabgleitet, und dabei jedem der beiden Seilstücke, an denen es hängt, eine Spannung von 250^{kil} mittheilt, wenn er jedes der Seilenden 2 mal um eine Rolle mit glatter Fläche geschlungen hat?

Man hat für jedes Seilende

$$t = \frac{T}{k} = \frac{250}{63{,}23} = 3^{kil},95,$$

also für beide die gesuchte Kraft $= 7^{kil},90$.

Regeln zur Einrichtung einer Transmission mittelst Seilen und Riemen.

245. Um eine Bewegungsfortpflanzung durch Schnüre oder Riemen ohne Ende anzuordnen, muß man zuerst die Größe der Arbeit bestimmen, welche auf die Rolle oder Trommel fortgepflanzt werden soll. Dividirt man diese durch die Geschwindigkeit, welche der Umfang dieser Trommel annehmen soll, so erhält man die Kraft Q, welche durch den Riemen fortgepflanzt werden soll oder einen genäherten Werth des Unterschieds der Spannungen T und t und man hat also

$$T - t = Q.$$

Man berechnet dann den kleinsten Werth, den man der Spannung t des gezogenen Stücks geben kann nach der Formel

$$t = \frac{Q}{k-1}.$$

Bei dieser Berechnung nimmt man für Q den größten Werth, den die Kraft erreichen kann, wobei man die Reibungen, welche von andern Kräften, als den Spannungen T und t herrühren, berücksichtigt, und vermehrt den so erhaltenen Werth von t wenigstens um $^1/_{10}$, um sicher zu seyn, daß bei den zufälligen Aenderungen in dem Widerstande oder der Spannung der Riemen nicht auf der Rolle gleite, wie auch um die Vernachlässigung der Reibung, welche von der Spannung herrührt, zu kompensiren.

Kennt man t, so erhält man die größere der beiden Spannungen nach der Formel

$$T = Q + t,$$

und folglich die Summe beider Spannungen $T + t$, deren Hälfte die Spannung jedes der beiden Riemenstücke im Zustande der Ruhe ist.

Beispiel.

Um eine gußeiserne Rolle von $0^m,30$ Durchmesser ist um den halben Umfang ein lederner Riemen geschlagen, der die Kraft 35 Kilogramm fortpflanzen soll; welches sind die kleinsten Spannungen, die die einzelnen Stücke zu ertragen haben.

Die Formel gibt

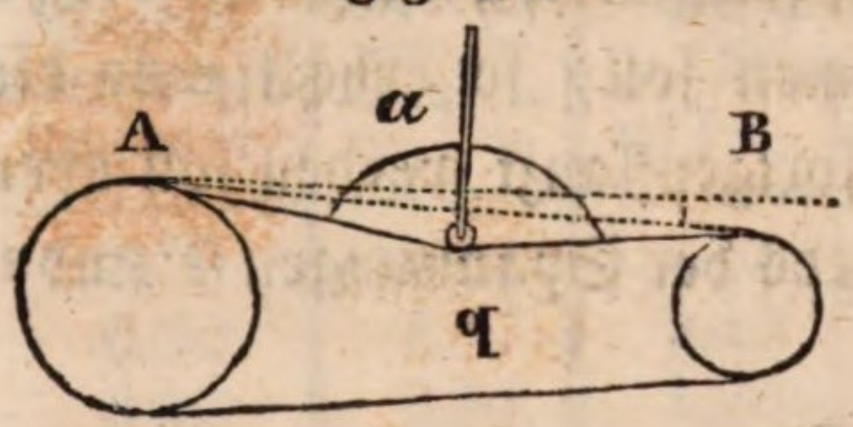
$$t = \frac{35}{2{,}41 - 1} = 24^{kil},83.$$

Für diese Spannung muß man $27^k,32$ nehmen; dann wird die Spannung des ziehenden Stücks $T = 62^k,32$. Die Spannung beider Riemenstücke in der Ruhe ist nun $44^k,82$.

Spannungsrollen.

246. Um die Spannung des Riemens in Ruhe constant zu erhalten, und um dieser den eben berechneten Werth zu geben, wendet man Spannungsrollen an.

Fig. 37.



Das Gewicht q dieser Rollen berechnet man beiläufig nach der Formel

$$q = \frac{2\,T \cos a}{\cos b},$$

worin ist

a die Hälfte des stumpfen Winkels, den beide Stücke des Riemens, auf dem die Rolle liegt, mit einander bilden, und den man sich **a priori** geben kann;

b der Winkel, welchen die Linie **AB** mit der Horizontalen macht.

Dem Riemen gibt man dann eine solche Länge, daß er in der Ruhe nur die angenommene Einbiegung annimmt, und dann wird die Tension T sehr nahe den oben berechneten Werth annehmen.

Außerdem behält man sich vor, durch die bekannten Mittel die Wirkung des Gewichts der Rolle nach Belieben zu vergrößern oder zu vermindern.

Anmerkung. Ist die Anordnung der Rollen so, daß die Spannungsrolle nicht vertikal wirken kann, so kann man durch eine zweckmäßige Hebelverbindung ihrer Wirkung die erforderliche Richtung geben, und dann berechnet man den Druck q, welchen sie rechtwinklich auf die Linie **A B** ausüben soll, nach obiger Regel, wobei man den Winkel $b = 0$, also seinen Cosinus $= 1$ setzt.

Beispiel.

Im vorhergehenden Beispiel sey der Winkel $a = 85°$, und die Neigung der Linie **A B** $= 10°$, wie schwer muß die Rolle seyn?

Die Formel gibt

$$q = 89{,}64 \times \frac{0{,}0872}{0{,}9848} = 7^{kil},93.$$

Wir schließen dieß Kapitel von den Riemen mit der Bemerkung, daß sie ohne Gefahr, und mit der Sicherheit, daß sie lange gehen, Spannungen von $0^{k},25$ für den Quadratmillimeter Querschnitte ertragen können.

Damit läßt sich die Breite der Riemen rechnen, wenn man die Dicke des anzuwendenden Leders kennt.

Die Rollen, über welche lederne Riemen gehen, sollen eine Convexität von ungefähr $^1/_{10}$ ihrer Breite haben.

Vom Räderwerke.

Formeln zur Bestimmung der Halbmesser der Räder.

247. Die gezahnten Räder dienen dazu, die Kreisbewegung von einer Axe auf eine andere in einem konstanten Verhältnisse, das man **a priori** kennt, fortzupflanzen; dazu bestimmt man zuerst zwei Kreise, deren Radien im umgekehrten Verhältnisse der Zahlen der Umläufe stehen, die jedes Rad machen soll.

Nennt man

R den Radius des einen Kreises,

R′ den Radius des andern,

n die Zahl der Umläufe, welche der Kreis vom Radius **R′** bei jedem Umlauf des Kreises vom Radius machen soll, so hat man

$$\mathbf{R = n\,R'}.$$

Gibt man sich nun einen der Radien, so ist hiernach der andere bestimmt.

Ist die Entfernung beider Axen gegeben = d, so hat man

$$d = R + R',$$

und man rechnet nun die Radien nach den Formeln

$$R = \frac{n\,d}{n+1},\quad R' = \frac{d}{n+1}.$$

Definitionen.

248. Die so bestimmten Kreise nennt man die Theilrisse. Sie dienen als Grundlage der Verzeichnung.

Die Dicke der Zähne mißt man auf dem Umfange dieser Kreise.

Die Länge der Zähne ist ihre Dimension in der Richtung der Rotationsaxe.

Die Summe der Dicke eines Zahns und des folgenden Zwischenraums oder die Entfernung zweier Zähne von Mitte zu Mitte nennt man die Theilung des Rades.

Den Theil eines Zahns, welcher über den Theilriß hinaus reicht, nennt man den Kopf.

Druck, den ein Zahn auszuhalten hat.

249. Theilt man die Arbeit, welche ein Rad fortpflanzen soll, durch die Geschwindigkeit seines Theilrisses, so hat man den Druck, welchen die Zähne zu erleiden haben.

Diese Berechnung muß für die größt mögliche Arbeit, wo die Maschine unter der größten Belastung geht, angestellt werden.

Kennt man den Druck P, den ein Zahn zu erleiden hat, so berechnet man die Dicke b, welche man den Zähnen geben muß, nach den Formeln in Nr. 328.

Ihre Länge parallel zur Axe wird nach den Regeln der nämlichen Nummer bestimmt.

Der Ausschnitt zwischen zwei Zähnen soll der um 1/10 bis 1/15 vermehrten Dicke der Zähne gleich seyn, je nach dem Grade der Genauigkeit in der Ausführung.

Die Theilung a des Rades ergibt sich, wenn die Zähne von demselben Stoff sind

$$a = 2{,}1\ b \text{ oder } a = 2{,}067\ b,$$

je nach der minder oder mehr genauen Ausführung, und

$$a = b + 1{,}1\ b' \text{ oder } a = b + 1{,}067\ b',$$

wenn die Zähne von verschiedenen Stoffen sind, wo dann b die Dicke des Zahns beim Rade und b' die Zahndicke beim Getriebe ist.

Anmerkung. Der leichtern und wohlfeilern Ausführung wegen rechnet man zuweilen nur die Dicke der hölzernen Zähne und nimmt die der gußeisernen dieser gleich.

Anzahl der Zähne.

250. Nennt man

m die Zahl der Zähne des Rades, dessen Theilriß den Radius R hat,

m' die Zahl der Zähne des Rades, dessen Theilriß den Radius R' hat,

so hat man

$$m = \frac{2\pi R}{a} = \frac{6{,}28\,R}{a} \text{ und } m' = \frac{m}{n}.$$

Beinahe immer werden die so erhaltenen Zahlen aus einer ganzen und einem Bruch bestehen, und da man überdieß der Symmetrie wegen gerne hat, daß die Zahl der Zähne durch die Zahl der Radarme theilbar sey, so nimmt man für m die der gefundenen nächstliegende kleinere Zahl, welche zugleich durch die Zahl der Arme und durch die Zahl n des Verhältnisses der Halbmesser des Rades und des Getriebes theilbar ist.

Hierdurch wird die Theilung und damit die Dicke und Stärke der Zähne etwas größer, als oben berechnet wurde.

Wir fügen hierzu noch die Bemerkung, daß es der guten Ausführung wegen zweckmäßig ist, dem Getriebe wenigstens 8 Zähne zu geben.

Beispiel.

Ein Zahnrad soll ein Getriebe umtreiben, so daß dieß vier Umdrehungen macht, während jenes eine. Die Entfernung der Axen ist 3^m. Die Arbeit, welche das Rad fortpflanzen soll, ist 1025^{km} in 1″, wobei es 8 Umdrehungen in der Minute macht.

Man hat

$$n = 4,\ R = \frac{n\,d}{n+1} = \frac{4 \times 3}{5} = 2^m,40,$$

$$R' = \frac{3}{5} = 0^m,60.$$

Die Geschwindigkeit im Theilriß ist $= \frac{6,28 \times 2,40 \times 8}{60} = 2^m,010.$

Der Druck, den die Zähne aushalten müssen $= \frac{1025}{2,010} = 510^{kil}.$

Sind die Zähne von hartem Holze, so erhält man nach Nr. 328 für ihre Dicke

$$b = 0,143 \sqrt{510} = 3,23 \text{ Centimeter.}$$

Die Zähne des Getriebes von Gußeisen erhalten die Dicke

$$b' = 0,105 \sqrt{510} = 2,37 \text{ Centimenter.}$$

Die Theilung wird hiernach

$$a = b + 1,067\ b' = 5,76 \text{ Centimeter,}$$

wenn die Verzahnung mit Sorgfalt ausgeführt wird.

Für die Zahl der Zähne des Rades erhält man

$$m = \frac{2\,\pi\,R}{a} = \frac{15,10}{0,0576} = 262.$$

Gibt man dem Rade 8 Arme, so nimmt man hierfür $m = 256$, welches zugleich durch 8 und durch $n = 4$ theilbar ist, wo dann auf jeden Arm 32 Zähne kommen.

Das Getriebe ist in einem, höchstens zwei Stücken gegossen, so daß man $m' = 64$ nehmen kann. Daraus erhält man nun

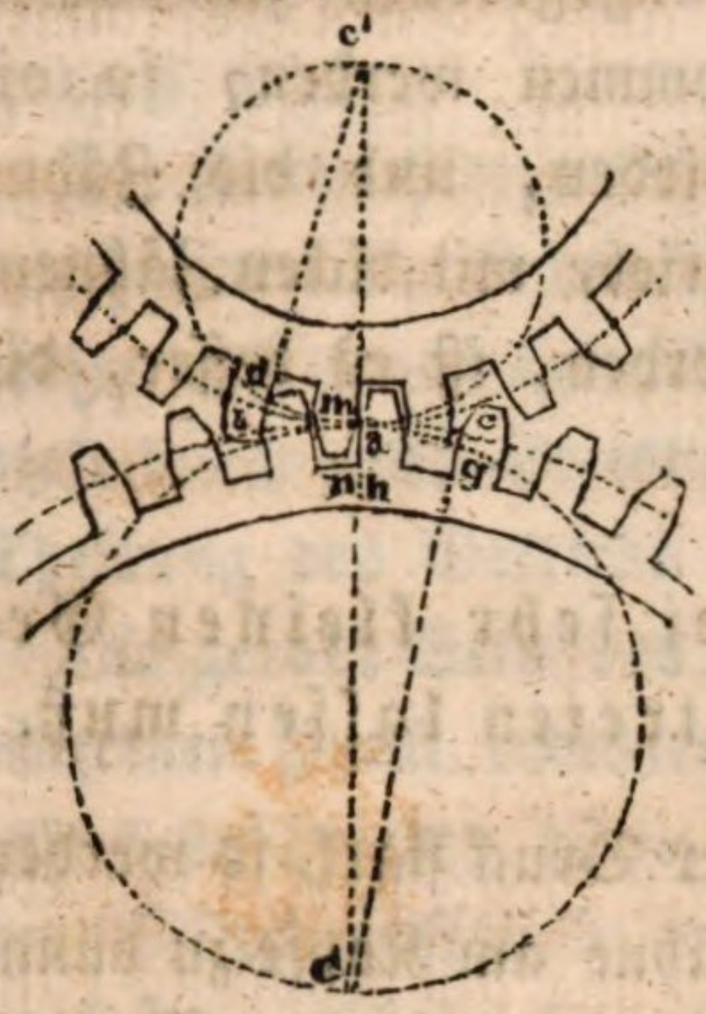
$$a = \frac{2\,\pi\,R}{m} = \frac{15,1}{256} = 5,89 \text{ Centimeter.}$$

Praktische Verzeichnung der Zähne.

251. Sind die Radien der Theilrisse und die Theilung bestimmt, so theilt man die Theilrisse in so viele gleiche Theile, als sie Zähne erhalten sollen, von dem Punkt **a** aus, in welchem sich beide Kreise berühren, und bemerkt auf diesen Rissen die Dicke jedes Zahnes.

Durch den ersten Theilpunkt **b** des Kreises **c' a** des Getriebs, der von **a** um die Theilung entfernt liegt, ziehe man den Radius **c' b**, welcher den Kreis vom Durchmesser **c' a** in einem Punkte **d** durchschneiden wird. Man verbindet nun **d** mit dem ersten Theilpunkt **b'** des Kreises **c a** durch eine gerade Linie **d b'**, in

Fig. 38.



deren Mitte man eine Rechtwinkliche auf sie errichtet, welche den Kreis des Halbmessers **c a** in irgend einem Punkte durchschneiden wird. Diesen Punkt nimmt man sofort als den Mittelpunkt der Krümmung des Zahnkopfes, welche mit der Entfernung dieses Punktes von **b'** und **d** beschrieben wird.

Ist der Radius des Kreises, den man der Epicycloide substituirt, auf diese Art bestimmt, so beschreibt man damit alle Zähne des Rades auf beiden Seiten.

252. Vom Punkt **c**, als Mittelpunkt, aus beschreibe man einen Kreis durch **d**, welcher die Zahnköpfe begrenzt, so daß einer aus dem Eingriff tritt, wenn der folgende in die Verbindungslinie **C c'** der Mittelpunkte tritt.

253. Den innern Theil des Zahns begrenzt man auf beiden Seiten durch nach **c** gezogene Radien.

254. Die Zähne des Getriebs werden ganz auf dieselbe Art verzeichnet, wie die des Rades; man muß nur den Kreis **c'** als Theilriß des Rades und den Kreis **c** als Theilriß des Getriebs betrachten und dann ganz nach den in 251, 252 und 253 gegebenen Vorschriften verfahren.

Die Kreise **c d** und **c' g** durchschneiden die Linie **c c'** in Punkten, von welchem man bis **n** gegen **c** und bis **m** gegen **c'** $0^m,008$ und $0^m,01$ ungefähr aufträgt.

Durch die Punkte **n** und **m** ziehe man die Kreise **c n** und **c' m**, welche die Zähne nach innen begrenzen.

Die Seiten der Zähne verbindet man mit diesem Kreise gewöhnlich durch eine kleine Krümmung, um den scharfen einspringenden Winkel zu vermeiden.

Bemerkungen über die von Praktikern gewöhnlich gebrauchten Konstruktionen.

255. Die Praktiker substituiren gleichfalls der Epicycloide den Kreis, wobei sie den Radius entweder gleich oder gleich $^3/_4$ der Theilung nehmen.

Diese Methode fällt nahe mit der angegebenen zusammen, und kann ohne Nachtheil für diese genommen werden, so oft die Radien der Räder nicht sehr verschieden, und die Zähne nicht sehr dick sind. Für sehr kleine Getriebe mit dicken Zähnen, die von großen Rädern umgetrieben werden, ist es besser, die hier angegebene Methode zu befolgen.

Modifikationen, welche man bei sehr kleinen Getrieben und starkem Drucke eintreten lassen muß.

256. Ist das Getrieb sehr klein und der Druck stark, so werden nach der angegebenen Konstruktion die Zähne am Kopfe zu dünn. Dann muß man darauf verzichten, immer zwei Zähne im Eingriff zu haben, und für die Bögen **a b** und **a e**, welche während des Eingriffs beschrieben werden, nur $^3/_4$ der Theilung nehmen. Fallen auch hier noch die Zähne am Kopfe zu schwach aus, wird die Stärke am Kopfe kleiner als die Hälfte der Zahndicke, so fängt man von neuem an und nimmt **a b** und **a e** gleich der halben Theilung.

Anmerkung. Im Vorstehenden ist immer nur die Rede von Getrieben, welche von Rädern bewegt werden, und nicht von Trillingen, weil der Gebrauch dieser fehlerhaft ist und verlassen werden soll.

Modifikation für große Getriebe bei schwachem Druck.

257. Sind im Gegentheil die Räder groß, und ist der Druck klein genug, so kann man die Bogen **a b** und **a e** größer, etwa $= 1^1/_2$mal der Theilung nehmen, wo dann mehrere Zähne zugleich im Eingriff sind.

Grenze der ganzen Höhe der Zähne.

258. In allen Fällen soll der Zahn nicht über 1,5mal seine Dicke über den Kranz, der ihn trägt, hervorragen.

Inneres Getriebe.

259. Geht das Getriebe im Rade, so bleiben die Krümmungen der Zähne des Rades und die geraden Seiten der Zähne des Getriebs wie in Nr. 251; aber die geraden Seiten der Zähne des

Rades und die Krümmungen der Zähne des Getriebes müssen anders werden.

Die Kurve hierzu sollte eigentlich die Epicycloide seyn, welche durch einen Punkt des Theilrisses des Rades erzeugt wird, wenn dieser außen auf dem Theilrisse des Getriebes rollt; man ersetzt diese durch einen Kreisbogen, welcher zum Radius die Sehne der Theilung des Getriebs hat.

Die gerade Seite des Zahns am Rade würde sich dann auf den einzelnen Punkt reduziren, welcher die Epicycloide des Getriebzahns beschrieben hätte. Der Zahn des Rades würde dann vor der Mittelpunktslinie **c c'** immer mit demselben Punkte im Angriff seyn, wodurch er sich um so schneller abschleifen würde, als diese Art von Räderwerk gewöhnlich zur Fortpflanzung der Bewegung von Wasserrädern gebraucht wird, wo Rad und Getriebe immer naß und die Reibung groß ist.

In den gewöhnlichen Fällen, wo man Acht gehabt hat, das Getriebe nicht zu klein zn machen, und wo der Druck nicht zu groß ist, ist es möglich und vorzuziehen, den Eingriff vor der Mittelpunktslinie gar nicht statt finden zu lassen, und auf folgende Art zu verfahren:

Fig. 39.

Ist **a c'** die Mittelpunktslinie und **a** der Berührungspunkt beider Kreise, so trage man auf diese Kreise Bogen gleich der zweimaligen Theilung; an das Ende dieses Bogens ziehe man einen Radius, welcher den Kreis vom Durchmesser **c' a = R'** durchschneidet.

Diesen Durchschnittspunkt verbinde man mit dem Ende des Bogens im Theilrisse des Rades durch eine gerade Linie, auf welche man in ihrer Mitte eine Rechtwinkliche errichtet, deren Durchschnittspunkt mit dem Theilriß **c a** der Mittelpunkt der Krümmung des Radzahns ist.

Die gerade Seite des Getriebzahns wird nach dem Mittelpunkt **c'** gezogen. Aus dem Mittelpunkt des Rades ziehe man, wie in Nr. 252, einen Kreis, welcher die Köpfe der Zähne so abschneidet,

daß ein Zahn aus dem Eingriff kommt, wenn der zweite vorhergehende die Mittellinie erreicht.

Die benützte Länge der geraden Seite des Getriebzahns ist hiermit bestimmt; allein es ist nothwendig, ihn nach außen vom Theilkreis **c' a** um $0^m,003$ bis $0^m,005$ zu verlängern, wobei man diese Verlängerungen in Kreisbögen mit dem Radius der Theilung krümmt.

Die Zähne an dem Rad läßt man gleichfalls nach dem Radius so weit als erforderlich zurückgehen.

Sind die Höhen der Zähne so bestimmt, so gibt man den leeren Zwischenräumen eine solche Tiefe, daß die Zähne in ihnen noch einen Spielraum von $0^m,008$ bis $0^m,010$ haben.

Abänderung für kleine Getriebe bei großem Drucke.

260. Bei kleinen Getrieben können die Zähne nach dieser Konstruktion an dem Kopfe zu dünne werden. Dann verzichtet man auf das stete Eingreifen zweier Zähne, und nimmt die Bögen nur gleich 1½mal, oder wenn es seyn muß nur gleich 1mal der Theilung. Dieser Fall kommt nur selten vor.

Die auf diese Art konstruirten Verzahnungen können nur gebraucht werden, wenn das Rad das Getriebe umtreibt.

Getrieb und gezahnte Stange.

261. Um die Zähne eines Getriebs zu konstruiren, das eine gezahnte Stange bewegen soll, muß man zuerst die Höhe bestimmen, auf welche die Stange bei einer Umdrehung gehoben werden soll.

Nennt man

h diese Höhe,

r den Halbmesser des Theilkreises für das Getriebe, so hat man

$$r = \frac{h}{2\pi}.$$

Aus dem Widerstande, den die gezahnte Stange dem Getriebe entgegensetzt, berechnet man die Dicke **b** des Getriebzahns, woraus die Theilung **a** und dann die Zahl **m** der Zähne des Getriebs

$$m = \frac{2\pi r}{a}$$

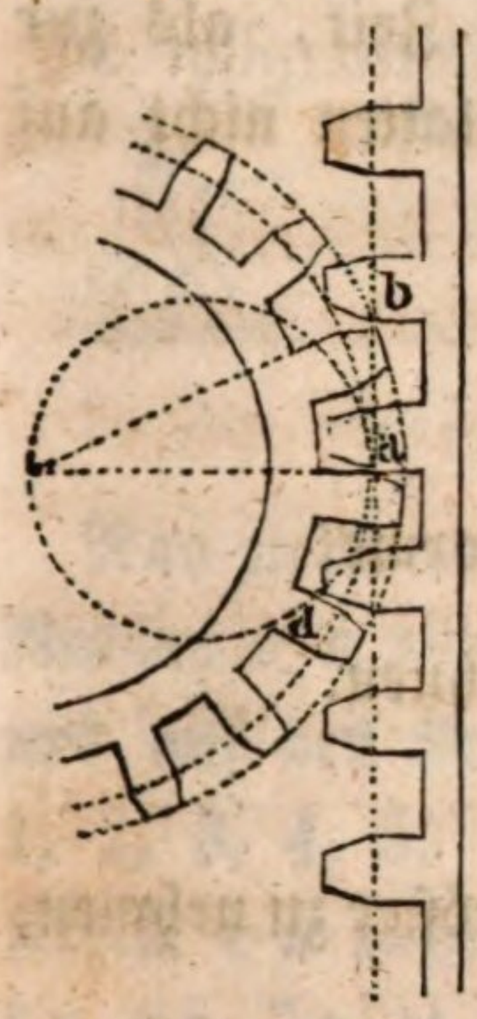
sich ergibt.

Für *m* nimmt man die nächst kleinere ganze Zahl, woraus man rückwärts wieder die Theilung etwas größer als vorhin bestimmt.

Ist dieß geschehen, so windet man einen Faden um den Theilkreis und zieht mit einem Stift, der an seinem Ende angebracht ist, indem man den Faden abwickelt, die Evolvente des Kreises, welche die Krümmung beider Seiten des Zahnkopfs am Getriebe gibt.

Innerhalb des Theilkreises setzt man den Zahn nach den Radien fort. Um die nutzbringende Höhe des Zahns zu bestimmen, so daß der Eingriff in einer gegebenen Entfernung aufhöre, für welche man zuerst die Theilung nimmt, trägt man auf die Berührungslinie eine Länge **a b** der Theilung gleich, und zieht vom Mittelpunkte **c** aus mit dem Radius **c b** einen Kreis, welcher die Höhe der Zähne begrenzt.

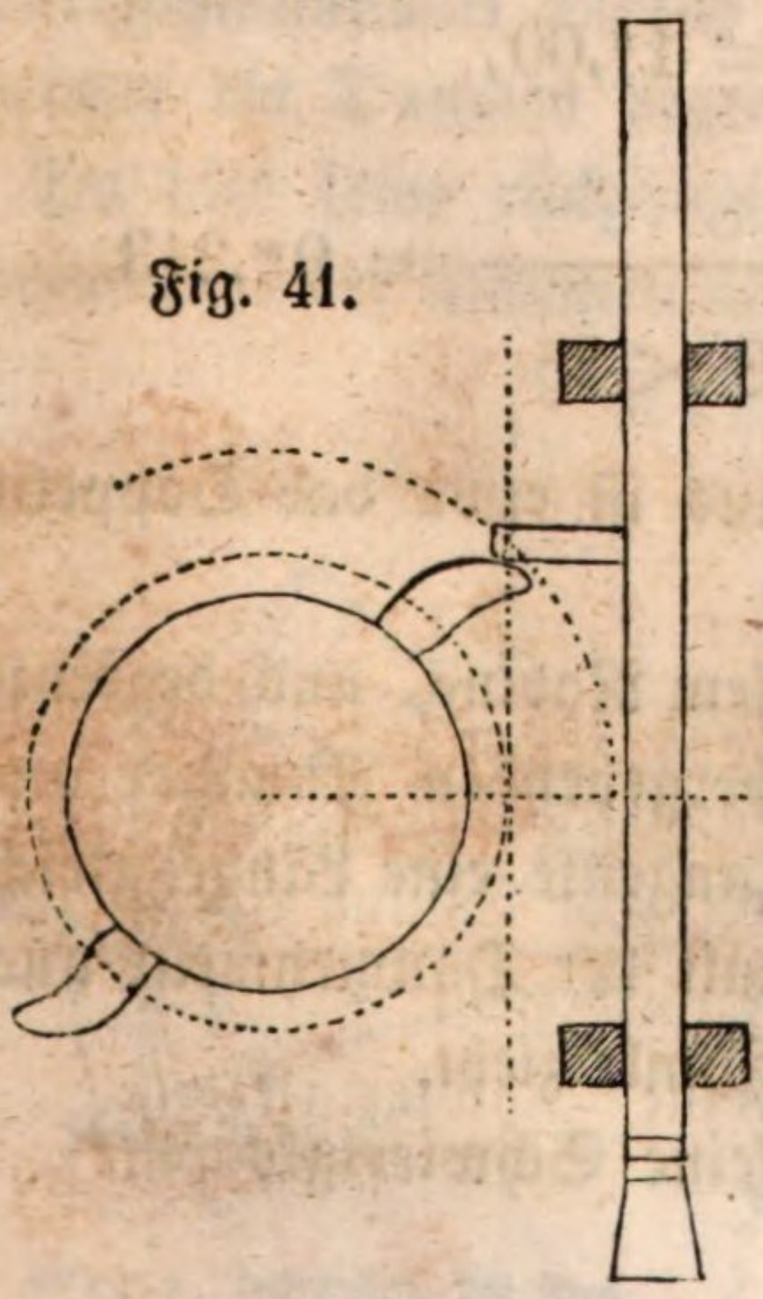
Fig. 40.



Die Krümmung der Zähne der Stange beschreibt man hinreichend genau mit der Theilung als Halbmesser, und nimmt sie so hoch, daß der vor **c a** liegende Zahn noch bis an den über **c a** als Durchmesser beschriebenen Kreis nach **d** geht. Diese Zähne sind, wie die des Rades, symmetrisch und ihre geraden Seiten rechtwinklich auf die Richtung der Bewegung.

Ueber die Tiefe des leeren Zwischenraums und die ganze Höhe des Zahns sehe man Nr. 254 und 259.

Fig. 41.



Hebedaumen für Stampfer.

262. Die Hebedaumen für Stampfer werden eben so verzeichnet, wie die Zähne eines Getriebs, das eine gezahnte Stange bewegt; allein hier hat man noch die Bedingung, daß der Stampfer nach der Erhebung Zeit habe, zurückzufallen, ehe der nächste Daumen ankommt, um ihn neu zu erheben.

Nennt man

h die Hubhöhe des Stampfers, die gegeben ist,

m die Zahl der Daumen, welche bei einem Umlauf der Welle denselben Stampfer erheben,

n die Zahl der Umdrehungen der Daumenwelle in 1′,

$t = \frac{60}{n}$ = der Dauer eines Umlaufs,

r den Halbmesser des Theilrisses; so ist

die Dauer von einer Erhebung zur andern $= \frac{t}{m} = \frac{60}{mn}$.

Weil aber die passiven Widerstände das Niedersinken etwas verzögern können, so nimmt man nur $^5/_6$ dieser Zeit, als zur Bewegung erforderlich an, damit ja die Hebelatten nicht auf die Daumen fallen.

Setzt man

$$\frac{5}{6}\,\frac{t}{m} = t',$$

so kann man nun den Halbmesser r nach der Formel

$$r = \frac{60\,h}{\left(t, - \sqrt{\frac{2\,h}{9{,}81}}\right) 6{,}28\,.\,n}$$ berechnen.

Es bringt keinen Nachtheil, den Radius etwas größer zu nehmen.

Beispiel.

Wie groß muß wenigstens der abzuwickelnde Kreis für die Daumen bei einer Stampfmühle seyn, wenn

$h = 0^m{,}40,\ m = 2,\ n = 25$ ist?

Es ist

$$t' = \frac{5}{6} \cdot \frac{60}{2 \times 25} = 1'',00,$$

und

$$r = \frac{60 \times 0{,}40}{\left(1{,}00 - \sqrt{\frac{2 \times 0{,}40}{9{,}81}}\right) 6{,}28 \times 25} = 0^m{,}213.$$

Der gewöhnlich angenommene Radius ist etwa das Doppelte von diesem.

Man zieht nun einen Kreis mit diesem Radius, und begrenzt die Länge der Kurve, wie in der vorhergehenden Nummer angegeben wurde, indem man auf die Tangente eine Länge gleich der Hubhöhe trägt, und vom Mittelpunkt der Daumenwelle aus einen Kreis durch den so bestimmten Punkt zieht.

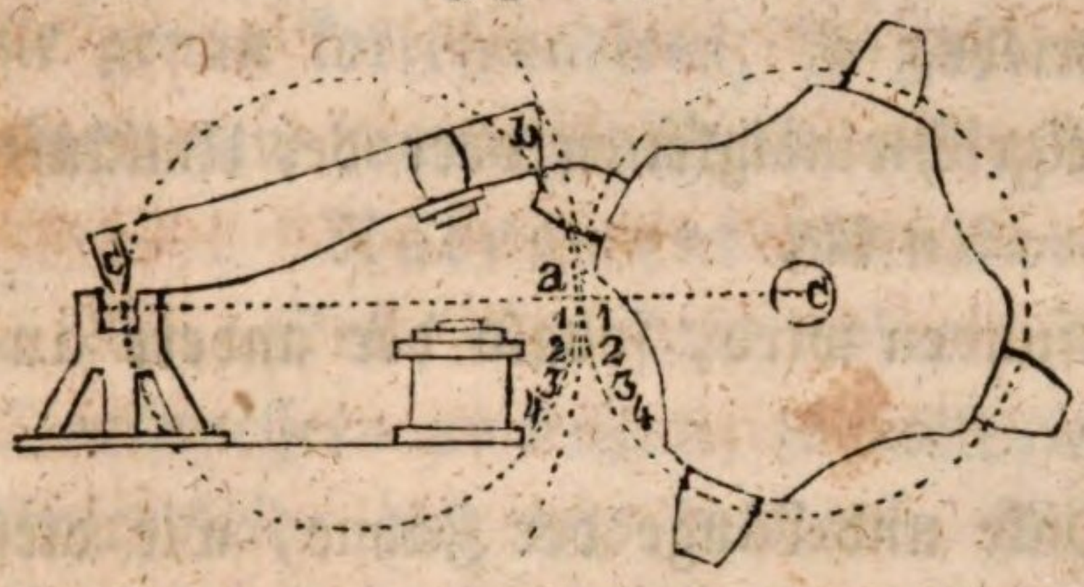
Das übrige der Verzeichnung hat keine Schwierigkeiten.

Epicycloidische Daumen zur Hervorbringung einer unterbrochenen Kreisbewegung.

263. Zur Erhebung der Hämmer in Walkmühlen, der Stirnhämmer ꝛc. braucht man epicycloidische Daumen.

Zuerst bestimmt man die Höhe der Erhebung, den Bogen, während dessen der Eingriff statt findet. Dann nimmt man für den Theilkreis der Daumen einen Radius nach den gebräuchlichen Proportionen und so an, daß der Hammer zum Herabfallen Zeit hat, ehe der nächste Daum ihn ergreift.

Fig. 42.



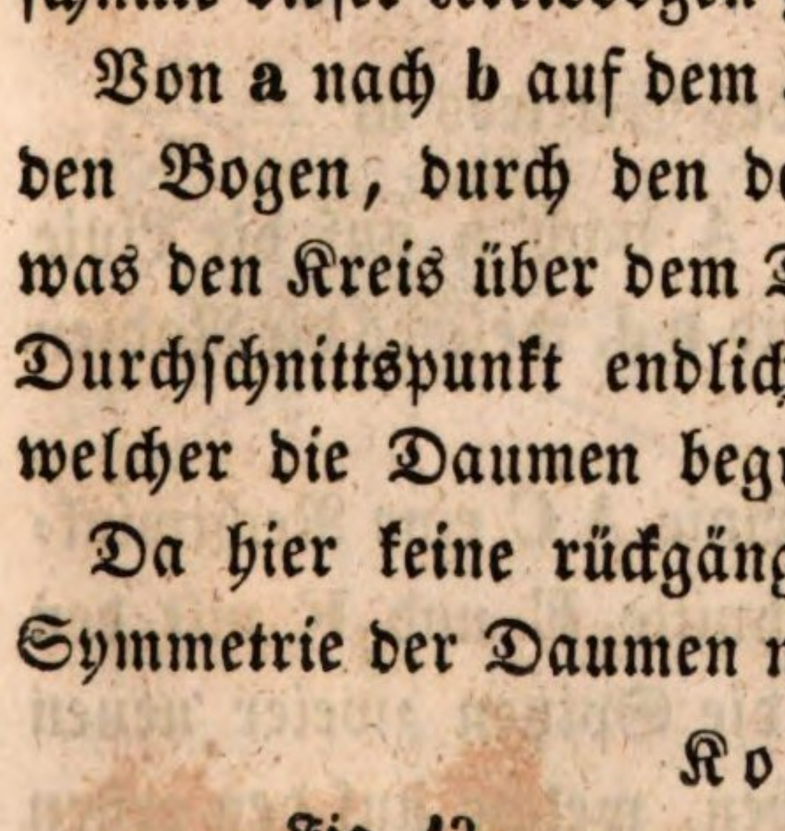
Nun ziehe man den Theilriß **c a** der Daumen, den Kreis vom Radius **c' a** und den vom Durchmesser **c' a**. Auf den letzten Kreis und auf den Kreis **c a** trage man von **a** aus gleiche Theile nach 1, 2, 3, 4, 5. Von den Theilpunkten 1, 2, 3, 4, 5 auf dem Kreise **c a** ziehe man Kreisbögen mit Radien gleich den Sehnen **1 a**, **2 a**, **3 a**, ꝛc. des Kreises vom Durchmesser **c' a**. Die Durchschnitte dieser Kreisbögen geben die Epicycloide der Daumen.

Von **a** nach **b** auf dem Kreise vom Halbmesser **c' a** trage man den Bogen, durch den der Eingriff statt finden soll; ziehe **c' b**, was den Kreis über dem Durchmesser **c' a** schneidet; durch diesen Durchschnittspunkt endlich von **c** als Mittelpunkt einen Kreis, welcher die Daumen begrenzt.

Da hier keine rückgängige Bewegung statt finden kann, so ist Symmetrie der Daumen nicht erforderlich.

Konische Räder.

Fig. 43.



264. Ist der Winkel gegeben, den beide Rotationsaxen mit einander bilden, so errichte man in beliebigen Punkten seiner Schenkel **C M** und **C N** Rechtwinkliche, welche unter sich im umgekehrten Verhältnisse der Winkelgeschwindigkeiten oder der Zahl der Umläufe stehen. Durch die Endpunkte **P** und **Q** dieser Rechtwink-

lichen ziehe man zwei Parallelen **P A** und **Q A** zu den Linien **M C** und **N C**. Die Linie **C A** theilt nun den Winkel **M C N** in zwei Theile, so daß die Kegel, welche diese Linie zur Erzeugenden und zu Axen die Linien **C M** und **C N** hätten, auf einander mit den gegebenen Winkelgeschwindigkeiten rollen würden.

Nennt man

R den Halbmesser des Rades, und

R' den Halbmesser des Getriebs,

n das Verhältniß der Winkelgeschwindigkeiten oder der Umläufe,

so hat man $$R = n R',$$

woraus der eine Radius gefunden wird, sobald der andere angenommen ist.

Man berechnet nun die Dicke und Länge der Zähne, wie dieß in Nr. 328 angegeben ist, und bestimmt damit die Theilung.

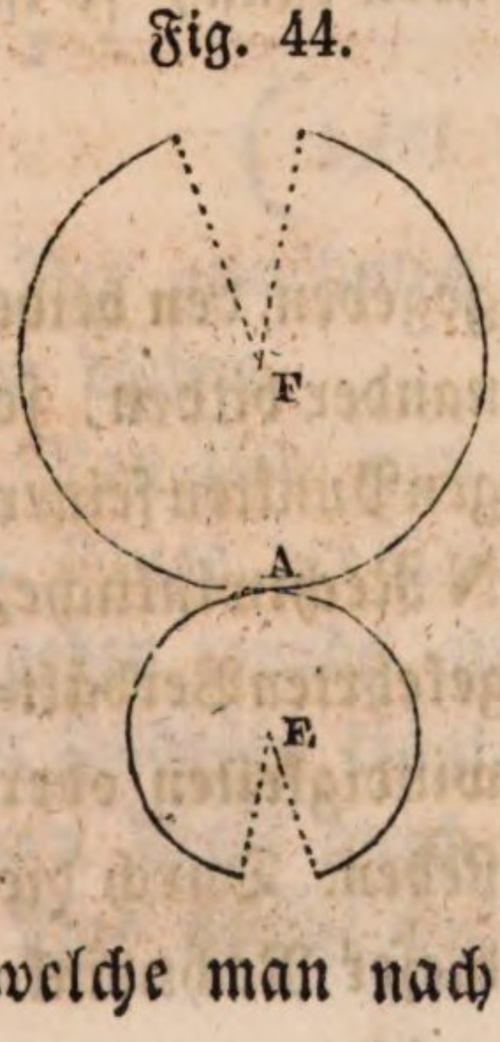
Dividirt man nun die Peripherie $2 \pi R$ durch die Theilung **a**, so findet man die Zahl **m** der Zähne des Rades, wofür man die nächst kleinere ganze Zahl nimmt, welche zu gleicher Zeit durch die Zahl der Radarme und durch das Verhältniß **n** der Geschwindigkeiten theilbar ist. Hierdurch erhält man einen neuen Werth der Theilung $= \frac{2 \pi R}{m}$, der etwas größer ist als der obige.

Nun erhält man die Zahl der Zähne des Getriebs $m' = \frac{m}{n}$.

Die Länge der Zähne trägt man von **A** nach **a** auf die Linie **A C** und fällt die Rechtwinklichen **a b** und **a d**, welches die Radien zweier neuen Kreise sind.

Im Punkte **A** errichte man auf die Linie **A C** eine Rechtwinkliche, deren Durchschnitte **E** und **F** mit den Axen **B C** und **D C** die Spitzen zweier neuen konischen Flächen geben, welche auf den ersten rechtwinklich, und die Stirnflächen der Zähne sind.

Fig. 44.



Nun wickelt man die Kegel, deren Spitzen in **E** und **F** sind, auf. Die Kreise **A B** und **A D**, welche ihre Grundflächen sind, berühren sich in **A** in der Aufwicklung; sie betrachtet man als die Theilkreise einer ebenen Verzahnung, welche man nach Nr. 251 verzeichnet.

Die Zeichnung einiger solcher Zähne macht man auf ein dünnes, biegsames Blech, schneidet die Zähne aus, und legt dieses dann als Lehre auf die Stirnfläche des fraglichen Rades, und zeichnet nach ihr die Zähne auf diese.

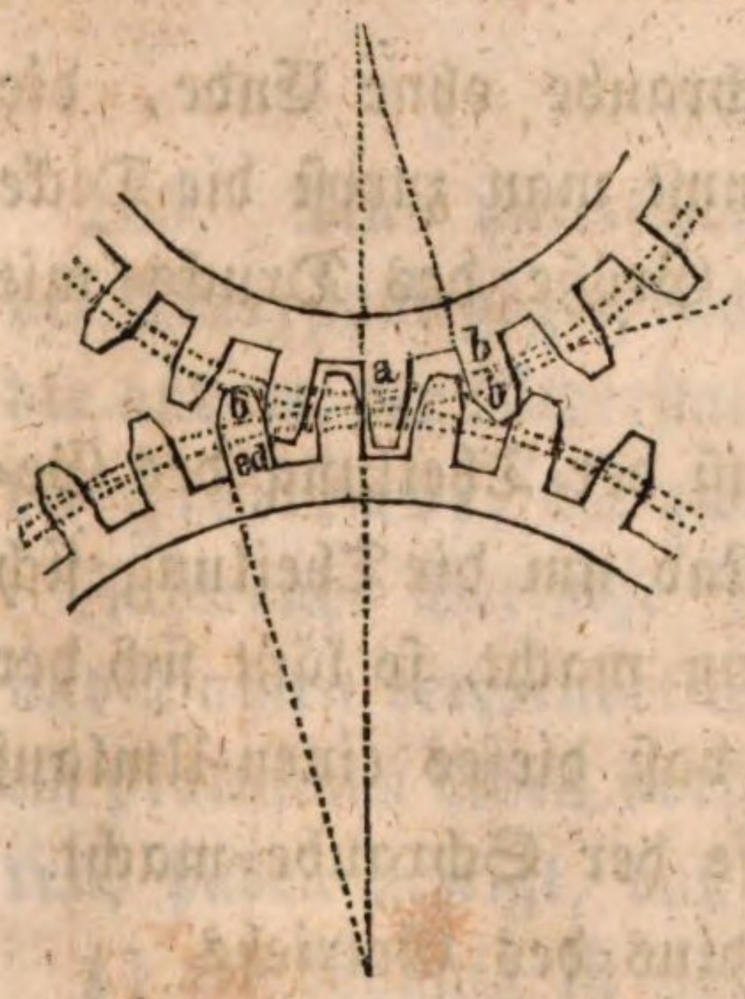
Dieselben Operationen wiederholt man für die innere Stirnfläche in a.

Sind die Tracen so auf beide Stirnflächen übergetragen, daß sie genau korrespondiren, so zieht man die geraden Linien von einem zum homologen Punkt, und arbeitet hiernach die Zähne aus.

Räderwerk mit Kreisevolventen.

265. Soll ein Rad mehrere Getriebe von verschiedenen Durchmessern umtreiben, so entspricht die Verzahnung nach der Epicycloide und das dafür in Nr. 251 angegebene praktische Verfahren, nicht mehr für alle Getriebe der Bedingung, die Geschwindigkeit in einem konstanten Verhältnisse fortzupflanzen. Hier thut man gut, ein Räderwerk mit Zähnen nach der Evolvente, wie folgt, zu construiren.

Fig. 45.



Man bestimmt die Halbmesser der Theilkreise, die Dicke und Länge der Zähne, die Theilung nach Nr. 247 und Nr. 250.

Ist dieß geschehen, und will man, daß der Eingriff vor und nach der Mittelpunktslinie in der Länge der Theilung statt finde, so trage man von **a** aus auf den Theilkreis des Getriebs einen Bogen **a b** der Theilung gleich und ziehe den Radius **c' b**. Von **a** aus fälle man eine Rechtwinkliche auf **c' b** und vom Punkt **c** eine Parallele **c e** zu **c' b**. Von den Mittelpunkten **c** und **c'** ziehe man Kreise, welche beide die Linie **a e** tangiren, und rolle auf diese Kreise Fäden mit Stiften an ihren Enden. Diese wickle man dann ab, so zeichnen die Stifte die Krümmungen der Zähne.

Von **c** aus beschreibe man einen Kreis durch den Fußpunkt, der von **a** auf **c' b** gefällten Rechtwinklichen; er begrenzt die Zähne des Rade.

Die Kurve des Getriebzahns ziehe man in der Entfernung der Theilung von der Mittelpunktslinie; sie wird die Linie **a e** durchschneiden. Durch diesen Durchschnittspunkt ziehe man von c' aus einen Kreis, welcher die Zähne des Getriebs begrenzt.

Die geraden Seiten der Zähne sind Radien; sie gehen $0^m,008$ bis $0^m,01$ über die Begrenzungskreise nach innen.

Abänderung für kleine Getriebe bei großem Druck.

266. Wenn in Folge einer großen Verschiedenheit der Radien **R** und **R'** und einer bedeutenden Dicke der Zähne, die Bedingung den Eingriff vor und hinter der Mittelpunktslinie eine Länge gleich der Theilung hindurch statt finden zu lassen, zu Zähnen führen würde, welche zu lang und am Kopfe zu schwach wären, so würde man die Zähne erst in einer Entfernung von $^3/_4$ oder $^1/_2$ der Theilung eingreifen lassen.

267. Die Verzahnungen nach Kreisevolventen ist in derselben Art bei konischen Rädern anwendbar.

Schraube ohne Ende und Getriebe.

268. Um die Verzahnung einer Schraube ohne Ende, die ein Getriebe bewegt, zu zeichnen, bestimmt man zuerst die Dicke der Zähne und die Theilung nach der Größe des Drucks mit Hilfe der Formeln in Nr. 328.

Die Höhe eines Schraubengangs muß der Theilung des Getriebs gleich seyn; und da dann das Rad um die Theilung sich dreht, wenn die Schraube einen Umgang macht, so läßt sich der Halbmesser des Getriebs so berechnen, daß dieses einen Umlauf während einer gegebenen Zahl Umläufe der Schraube macht.

Es sey **n** diese Zahl, so ist der Radius des Getriebs

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{n\,a}}{6{,}28},$$

wo **a** die Theilung des Rades bedeutet.

Die Höhe des Schraubengangs ist bekannt; damit erhält man den Halbmesser des Kerns der Spindel

$$\mathbf{r} = \frac{5}{2}\,\mathbf{a}.$$

Die gerade Linie, welche den Theilriß der Schraube vorstellt,

muß der Axe der Schraube parallel und in einer Entfernung = $\frac{11}{10}$ r von ihr seyn.

Nun zeichnet man das Profil der Zähne des Getriebs und der Schraubengänge wie für ein Getriebe, das einen Kammbaum bewegt, Nr. 261.

Die Schraube ist so völlig bestimmt.

Die Zähne des Getriebs müssen gegen seine Axe eben so geneigt seyn, wie die Schraubengänge gegen die Axe der Schraube. Hat man zu dem Ende das Profil der Zähne auf beide Stirnflächen getragen, so biegt man eine gerade Linie von dem einen Ende des Zahns auf dem Cylinder zum homologen Punkte des vorhergehenden Zahns in der Richtung der Bewegung; und indem man so fort geht, wie man die Zähne des Modells aushöhlt, erhält man die windische Fläche der Zähne.

Von der Reibung.

269. Man unterscheidet zwei Arten von Reibung, die eine ist der Widerstand gegen das Gleiten eines Körpers auf einem andern, die andere, der Widerstand gegen das Rollen. Man nennt die erste die gleitende, die zweite Art die rollende Reibung.

Zahlreiche Versuche *) mit allen Körpern, die bei Maschinen und Bauten verwendet werden, unter Pressungen, wie die, welche im praktischen Leben vorkommen, mit allen gebräuchlichen Schmieren, haben gezeigt, daß die gleitende Reibung

1) unabhängig ist von der Geschwindigkeit der Bewegung,

2) unabhängig von der Ausdehnung der Berührungsfläche,

3) proportional der Pressung in einem Verhältnisse, das für dieselben Körper in denselben Zuständen constant, aber verschieden von einem zum andern ist.

---

*) Nouvelles expériences sur le frottement, faites à Metz en 1831, 1832, 1833, imprimées par l'ordre de l'Académie des sciences. — 1834, chez Bachelier, libraire à Paris.

Die Erfahrung hat ferner gezeigt, daß die Reibung, wenn die Körper einige Zeit in Berührung waren, wie eine Schütze in ihren Falzen, im Anfang, wo man Bewegung herstellen will, viel größer ist, als wenn sie schon in Bewegung sind. Man muß daher zwei Fälle unterscheiden. 1) Die Körper waren einige Zeit in Berührung, und 2) die Körper sind in Bewegung auf einander.

Die Werthe des Verhältnisses der Reibung zum Druck für einen wie für den andern Fall sind für alle bei Maschinen in Gebrauch stehenden Körper in folgenden Tafeln aufgezeichnet.

Erste Tafel. — Reibung ebener Flächen, welche einige Zeit in Berührung standen.

Angabe der reibenden Flächen.	Lage der Fasern.	Zustand der Oberflächen.	Reibungscoefficient.
Eiche auf Eiche	parallel	ohne Schmiere	0,62
	"	mit trockener Seife	0,44
	rechtwinklich	ohne Schmiere	0,54
	"	mit Wasser befeuchtet	0,71
	Hirn auf platt liegendem	ohne Schmiere	0,43
Eiche auf Ulme	parallel	"	0,38
Ulme auf Eiche	"	"	0,69
	"	mit trockener Seife	0,41
	rechtwinklich	ohne Schmiere	0,57
Esche, Tanne, Buche, Vogelbeer auf Eiche	parallel	"	0,53
Gegerbtes Leder auf Eiche	das Lederplatt liegend	"	0,61
	das Leder auf der Kante	"	0,43
		mit Wasser befeuchtet	0,79
Schwarze lederne Riemen auf ebener Eichenfläche	parallel	ohne Schmiere	0,74
Schwarze lederne Riemen auf einer eichenen Trommel	rechtwinklich	"	0,47
Ungesponnener Hanf auf Eiche	parallel	"	0,50
	"	mit Wasser	0,87
Hanfseil auf Eiche	"	ohne Schmiere	0,80
Eisen auf Eiche	"	"	0,62
	"	mit Wasser	0,65

Angabe der reibenden Flächen.	Lage der Fasern.	Zustand der Oberflächen.	Reibungscoefficient.
Gußeisen auf Eiche	parallel	mit Wasser	0,65
Gelbguß auf Eiche	„	ohne Schmiere	0,62
Rindsleder bei Kolben auf Gußeisen	platt oder auf der Kante	mit Wasser	0,62
		mit Oel, Seife oder Schweinefett	0,12
Lederne Riemen auf gußeisernen Rollen	platt liegend	ohne Schmiere	0,28
		mit Wasser	0,38
Gußeisen auf Gußeisen . .	„	ohne Schmiere	0,16[1]
Schmiedeisen auf Gußeisen .	„	„	0,19
Eiche, Ulme, Weißbuche, Eisen, Gußeisen und Bronze, zwei und zwei eines auf dem andern	„	mit Talg	0,10[2]
		mit Oel oder Schweinefett	0,15[3]
Rogenstein auf Rogenstein .	„	ohne Schmiere	0,74
Muschelkalk auf Rogenstein .	„	„	0,75
Backstein auf Rogenstein . .	„	„	0,67
Eichen auf Rogenstein . . .	auf dem Hirn	„	0,63
Schmiedeisen auf Rogenstein	„	„	0,49
Muschelkalk auf Muschelkalk .	„	„	0,70
Rogenstein auf Muschelkalk ..	„	„	0,75
Backstein auf Muschelkalk . .	„	„	0,67
Schmiedeisen auf Muschelkalk	„	„	0,42
Eiche auf Muschelkalk . . .	„	„	0,64
Rogenstein auf Rogenstein .	„	mit Mörtel aus drei Theilen feinem Sand und ein Theil hydraulischem Kalk	0,74[4]

270. Da die Versuche gezeigt haben, daß eine sehr schwache Erschütterung die Trennung der Oberflächen und Bewegung herbeiführen könne, wenn die Kraft nur wenig über die steigt, welche zur Ueberwindung der Reibung während der Bewegung erfordert wird, so darf man sich bei allen Anwendungen auf die Stabilität von Konstruktionen, die Erschütterungen ausgesetzt sind, nicht dieser, sondern der folgenden Tafel bedienen.

---

1. Die Oberflächen wenig fett. — 2. Die Berührung dauerte nicht lange genug um die Schmiere hinaus zu drücken. — 3. Die Berührung dauerte lange genug die Schmiere weg zu drücken und einen nur wenig fettigen Zustand herbei zu führen. — 4. Nach einer Berührung von 10' bis 15'.

271. Zweite Tafel. — Reibung ebener Flächen, die sich auf einander bewegen.

Angabe der reibenden Flächen.	Lage der Fasern.	Zustand der Oberflächen.	Reibungscoefficient.
Eiche auf Eiche	parallel	ohne Schmiere	0,48
	"	mit trockener Seife	0,16
	rechtwinklich	ohne Schmiere	0,34
	"	mit Wasser	0,25
	Hirnholz auf den Fasern	ohne Schmiere	0,19
Ulme auf Eiche	parallel	"	0,43
	rechtwinklich	"	0,45
	parallel	"	0,25
Esche, Tanne, Buche, wilder Birnbaum und Vogelbeer auf Eiche	"	"	0,36—0,40
Schmiedeisen auf Eiche . .	"	"	0,62
		mit Wasser	0,26
		mit trockener Seife	0,21
Gußeisen auf Eiche	"	ohne Schmiere	0,49
		mit Wasser	0,22
		mit trockener Seife	0,19
Gelbguß auf Eiche	"	ohne Schmiere	0,62
Schmiedeisen auf Ulme . .	"	"	0,25
Gußeisen auf Ulme	"	"	0,20
Lederne Riemen auf Eiche .	"	"	0,27
Gegerbtes Leder auf Eiche .	platt oder auf der Kante	"	0,30—0,35
		mit Wasser	0,29
Gegerbtes Leder auf Gußeisen oder Bronze	platt oder auf der Kante	ohne Schmiere	0,56
		mit Wasser	0,36
		fett und mit Wasser	0,23
		mit Oel geschmiert	0,15
Ungesponnener Hanf oder Hanfseile	parallel	ohne Schmiere	0,52
	rechtwinklich	naß	0,33
Eiche und Ulme auf Gußeisen	parallel	ohne Schmiere	0,38
Wilder Birnbaum auf Gußeisen	"	"	0,44
Schmiedeisen auf Schmiedeisen	"	"	" [1]

1. Die Oberflächen greifen sich ohne Schmiere an.

Angabe der reibenden Flächen.	Lage der Fasern.	Zustand der Oberflächen.	Reibungscoefficient.
Schmiedeisen auf Gußeisen und Bronze	parallel	ohne Schmiere	0,18[1]
Gußeisen auf Gußeisen und Bronze	"	"	0,15[1]
Bronze auf Bronze . .	"	"	0,20
Bronze auf Gußeisen . .	"	"	0,22
Bronze auf Schmiedeisen .	"	"	0,16[1]
Eiche, Ulme, Weißbuche, wilder Birnbaum, Gußeisen, Schmiedeisen, Stahl und Bronze eines auf dem andern oder sich selbst . . .	"	auf gewöhnliche Art geschmiert mit Talg, Schweinefett, Oel, Wagenschmiere ꝛc.	0,07—0,08[2]
		nur wenig fettes Anfühlen	0,15
Rogenstein auf Rogenstein .	"	ohne Schmiere	0,64
Muschelkalk " " .	"	"	0,67
Backstein " " .	"	"	0,65
Eiche " " .	auf dem Hirn	"	0,38
Schmiedeisen " " "	parallel	"	0,38
Muschelkalk auf Muschelkalk .	"	"	0,69
Rogenstein " " .	"	"	0,65
Backstein " " .	"	"	0,60
Eiche " " .	auf dem Hirn	"	0,38
Schmiedeisen " " .	parallel	"	0,24
	"	naß	0,30

272. Dritte Tafel. — Reibung von Zapfen, die sich in Lagern bewegen.

Angabe der Oberflächen.	Zustand der Oberflächen.	Reibungscoefficient, wenn die Schmiere erneuert wird, auf gewöhnliche Art.	Reibungscoefficient, wenn die Schmiere erneuert wird, ununterbrochen.
Zapfen von Gußeisen auf Lagern von Gußeisen	geschmiert mit Olivenöl, Schweinefett, Talg oder Schweinefett mit Graphit	0,07—0,08	0,054
	mit denselben Schmieren, naß	0,08	"
	mit Asphalt	0,054	"
	fettig	0,14	"
	fettig und naß	0,14	"

1. Die Oberflächen waren noch wenig fett. — 2. Ist die Schmiere fortwährend erneuert und gleichförmig vertheilt, so kann dieß Verhältniß bis zu 0,05 herabsinken.

Angabe der Oberflächen.	Zustand der Oberflächen.	Reibungscoefficient, wenn die Schmiere erneuert wird, auf gewöhnliche Art.	Reibungscoefficient, wenn die Schmiere erneuert wird, ununterbrochen.
Zapfen von Gußeisen auf Lagern von Bronze	geschmiert mit Olivenöl, Schweinefett, Talg oder Schweinefett mit Graphit	0,07—0,08	0,054
	fettig	0,16	"
	fettig und naß	0,16	"
	sehr wenig fettig	0,19	"
Zapfen von Gußeisen auf Lagern von Franzosenholz.	ohne Schmiere	0,18	"
	geschmiert mit Oel oder Schweinefett	"	0,090
	fettig von Oel oder Schweinefett	0,10	"
	fettig von Schweinefett und Graphit	0,14	"
Zapfen von Schmiedeisen auf gußeisernen Lagern	geschmiert mit Olivenöl, Talg, Schweinefett oder Schweinefett und Graphit	0,07—0,08	0,054
Zapfen von Schmiedeisen auf Lagern von Bronze	geschmiert mit Olivenöl, Schweinefett oder Talg	0,07—0,08	0,054
	geschmiert mit fester Wagenschmiere	0,09	"
	fett und naß	0,19	"
	sehr wenig fett	0,25	"
Schmiedeiserne Zapfen auf Lagern von Franzosenholz	geschmiert mit Oel oder Schweinefett	0,11	"
	fett	0,19	"
Zapfen von Bronze auf Lagern von Bronze	geschmiert mit Oel	0,10	"
	geschmiert mit Schweinefett	0,09	"
Zapfen von Bronze auf Lagern von Gußeisen	geschmiert mit Oel oder Talg	"	0,045 bis 0,052
Zapfen von Franzosenholz auf Lagern von Gußeisen	geschmiert mit Schweinefett	0,12	"
	fett	0,15	"
Zapfen von Franzosenholz auf Lagern von Franzosenholz	geschmiert mit Schweinefett	"	0,07

Gebrauch vorstehender Tafeln.

273. Kennt man die Pressung mit der Oberflächen einer Materie in gegebenem Zustande auf einander gedrückt werden, so erhält

man die Reibung, welche sich dem Gleiten der Flächen über einander widersetzt, wenn man jene Pressung mit dem aus den Tafeln für diesen Fall genommenen Reibungscoefficienten multiplicirt.

Erstes Beispiel.

Welche Kraft ist erforderlich, um eine Schütze von Eichenholz von 1^m Breite, $0^m,05$ Stärke und $0^m,35$ Höhe aufzuziehen, welche eine Oeffnung von $0^m,30$ Höhe verschließt, über deren Mitte das Wasser $1^m,50$ hoch steht?

Die Aufziehstange ist von Eichenholz und hat $0^m,08$ Stärke, $0^m,12$ Breite und $2^m,30$ Höhe, wovon $1^m,60$ unter Wasser getaucht sind.

Die vom Wasser gedrückte Oberfläche ist gleich $1 \times 0,35 = 0^{mq},35$.

Die Höhe der Wassersäule, welche über ihrer Mitte steht, ist $1^m,50$, und daher der Druck auf die Schütze gleich

$$0,35 \times 1,50 \times 1000 = 525 \text{ kil.}$$

Die Reibung, welche im Anfang, wo die Schütze sich zu bewegen anfängt, zu überwinden ist, hat man (Tafel Nr. 269) gleich $0,71 \times 525^k = 373^k$.

Das Gewicht der Schütze und des eingetauchten Theils der Aufziehstange ist nahe gleich dem Gewichte des verdrängten Wassers. Das Gewicht des nicht eingetauchten Theils der Aufziehstange ist gleich $900 \times 0,08 \times 0,12 \times 0,7 = 6^k,05$.

Die zum Aufziehen der Schütze erforderliche Kraft ist daher für den Beginn der Bewegung

$$= 373 + 6 = 379^k.$$

Hat die Bewegung begonnen, so ist die Kraft zur Ueberwindung der Reibung nur noch

$$0,25 \times 525 = 131^k,25.$$

Zweites Beispiel.

Welches ist die erforderliche Kraft zum Aufziehen einer Schütze von Gußeisen von 3^m Breite, $0^m,45$ Höhe, welche eine Oeffnung von $0^m,40$ Höhe, unter 40° geneigt, schließt, wenn die Mitte der Schütze $0^m,60$ tief untergetaucht ist?

(Durch ein Gegengewicht ist das Gewicht der Schütze im Gleichgewicht gehalten, und man hat nur die Reibung der Schütze in ihren Falzen zu überwinden.)

Die durch das Wasser gedrückte Fläche beträgt $3 \times 0{,}45 = 1^{mq},35$. Die Höhe des Wasserspiegels über der Mitte dieser Fläche ist $0^{m},60$, daher der Druck des Wassers auf die Schütze

$$= 0{,}60 \times 1{,}35 \times 1000 = 810 \text{ Kilogramm.}$$

Die Reibung im Anfange der Bewegung (Tafel in Nr. 269)

$$0{,}314 \times 810 = 254 \text{ Kilogramm.}$$

Drittes Beispiel.

Wie groß ist die Reibung bei einem Sägengatter von Gußeisen, 50 Kilogramm schwer, das sich auf Bahnen von Bronze bewegt, wenn Schweinefett als Schmiere gebraucht ist, während der Bewegung?

Die Reibung ist (Tafel in Nr. 271)

$$0{,}07 \times 50 = 3^{k},50.$$

Wären die Oberflächen nur fettig, so würde die Reibung

$$0{,}14 \times 50 = 7^{k} \text{ betragen.}$$

Größe der Arbeit, welche durch die Reibung zweier ebenen Flächen aufgezehrt wird.

274. Die Größe der Arbeit, welche zur Ueberwindung der Reibung verwendet wird, wenn zwei ebene Flächen sich durch eine gegebene Länge über einander fortschieben, erhält man, wenn man die Größe der Reibung mit dem Weg multiplizirt, durch den die eine Fläche über die andere gleitet.

Beispiel.

Wie groß ist die wegen der Reibung verlorene Arbeit für jeden Hingang des Sägegatters im vorhergehenden Beispiel?

Die Schublänge sey $0^{m},65$, so ist diese verlorene Arbeit

$$= 0{,}14 \times 50 \times 0{,}65 = 4^{km},55,$$

und hat man 100 Stöße in 1′, so ist die verlorene Arbeit in 1″

$$\frac{4{,}55 \times 100}{60} = 7^{km},58.$$

Größe der durch die Reibung der Zapfen verlornen Arbeit.

275. Die Größe der durch Zapfenreibung in 1″ verlornen Arbeit ist $6{,}28\ n\ f\ N\ r$,

wo **N** der Druck auf die Lager, der vom Gewichte der Welle und ihrer Räder, der Kraft und dem Widerstande herrührt,
r der Radius des Zapfens,
n die Zahl der Umdrehungen in 1″,
f der Reibungscoefficient nach Tafel 3 ist.

Erstes Beispiel.

Welche Arbeit geht durch die Zapfenreibung bei einem Wasserrade in 1 Sekunde verloren, wenn der Druck der Zapfen auf die Lager 12000 Kilogramm beträgt?

Der Halbmesser der Zapfen soll $0^m,10$ seyn; sie sollen von Gußeisen seyn und in bronzenen Lagern laufen.

Das Rad macht 5 Umdrehungen in 1′.

Die Zapfenreibung ist (Tafel in Nr. 272)

$$0{,}07 \times 12000 = 840 \text{ Kilogramm},$$

daher die in 1″ verlorne Arbeit

$$6{,}28 \times \frac{5}{60} \times 840 \times 0{,}10 = 44^{km}.$$

Zweites Beispiel.

Wie viel Arbeit geht bei einem Wasserrade, dessen Nutzeffekt 3514^{km} oder 48,2 Pferdekräfte ist, durch die Reibung verloren?

Der Durchmesser des Rades ist $= 9^m,40$.

Die Kraft, welche das Wasser am Umfang des Rades von oben nach unten ausübt, geht vertikal und ist gleich 1372 Kilogramm.

Der Widerstand des Getriebs von unten nach oben ist auch ungefähr = 1372 Kilogramm.

Das Gewicht des Rades ist	25000^k
Das Gewicht des Wassers im Rade	1480^k
Der Radius der gußeisernen Zapfen auf Bronzelagern mit Schweinefett geschmiert, ist . . .	$0^m,118$
Die Geschwindigkeit des Radumfangs ist . . .	$2^m,63$

Aus diesen Angaben geht hervor, daß sich der Druck, welcher von der Kraft des Wassers und der, welcher von dem Widerstande herrührt, gegenseitig aufheben.

Der Druck auf die Lager ist daher gleich

$$25000 + 1480 = 26480^k.$$

Die Reibung (Tafel in Nr. 272)

$$0{,}08 \times 26480 = 2118^{k},40$$

und der in 1 Sekunde durchlaufene Weg

$$2{,}63 \times \frac{0{,}118}{4{,}55} = 0^{m},0682.$$

Daher die verlorene Arbeit in 1″

$$2118{,}40 \times 0{,}0682 = 144^{km},4,$$

oder ungefähr 2 Pferdekräfte.

Drittes Beispiel.

Welche Arbeit geht bei dem Wasserrade des Walzwerks zu Framont durch die Zapfenreibung verloren?

Der Halbmesser des Rades ist . . . . . $4^{m},57$
Die Geschwindigkeit des Radumfangs . . . . . $2^{m},30$
Der Nutzeffekt . . . . . 4500^{km}
Der vertikale Druck des Räderwerks von unten nach oben . . . . . 2930^{k}
Das Gewicht des Wassers in den Schaufeln ungefähr 5500^{k}
Das Gewicht des Rades nebst Zugehör . . . . 86687^{k}

Die Zapfen sind von Gußeisen und bewegen sich auf Lagern von Bronze mit Talgschmiere.

Der Radius der Zapfen . . . . . $0^{m},21$

Der Druck auf die Zapfen ist

$$86687 + 5500 - 2930 = 89257.$$

Die Zapfenreibung beträgt daher

$$0{,}08 \times 89257 = 7140^{k}.$$

Der Weg, den ein Punkt am Umfang des Zapfens in 1″ durchlauft

$$= 2{,}30 \times \frac{0{,}21}{4{,}57} = 0^{m},106,$$

und die verlorne Arbeit in 1″

$$7140 \times 0{,}106 = 756^{km},8 = 10{,}25 \text{ Pferdekräften.}$$

Verlorne Arbeit bei stehenden Zapfen.

276. Die wegen der Reibung bei stehenden Zapfen verlorne Arbeit ist $4{,}19\ \mathbf{n}\ \mathbf{f}\ \mathbf{N}\ \mathbf{r}$ in 1″.

Dabei sind die Bezeichnungen dieselben, wie in Nr. 275, nur ist der Reibungscoefficient f aus der Tafel 272 zu nehmen.

Beispiel.

Eine vertikale Welle steht auf einem Stahlzapfen, der sich auf einem Lager von Bronze dreht. Die Belastung des Zapfens beträgt 3400 Kilogramm, der Halbmesser $0^m,03$, und es geschehen 18 Umdrehungen in 1′; wie viel Arbeit geht durch die Reibung verloren?

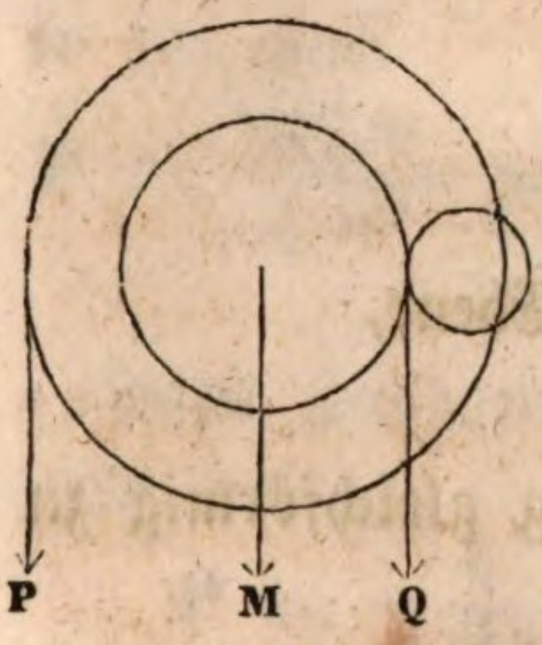
Die Formel gibt

$$4,19 \times \frac{18}{60} \times 0,07 \times 3400 \times 0,03 = 4^{km},48.$$

Bestimmung des Drucks auf eine Rotationsaxe.

277. Bei der Bestimmung des Drucks auf eine Rotationsaxe oder einen stehenden Zapfen können mehrere Fälle vorkommen.

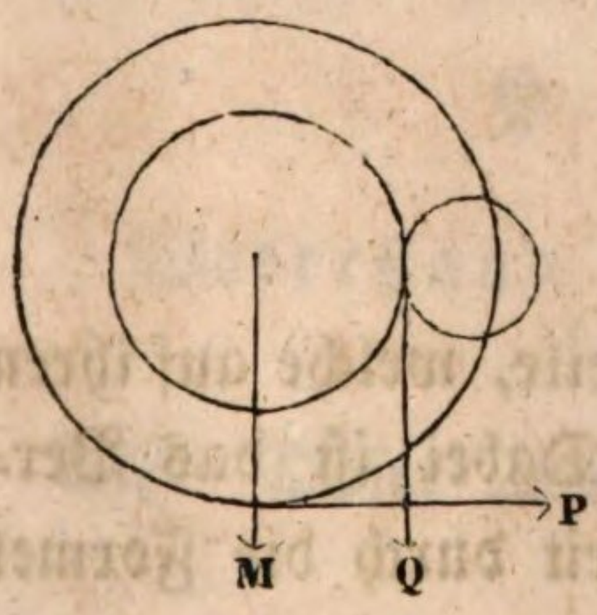
Fig. 46.



1) Wirken alle Kräfte vertikal (Fig. 46), so addirt man das Gewicht **M** der Welle mit Zubehör zu den Kräften, welche von oben nach unten wirken und zieht davon die Summe **Q** der Kräfte, welche von unten nach oben wirken, ab.

Bei Wasserrädern kann man in der Regel das Gewicht des Wassers gegen das des Rades vernachlässigen, und nur die Kraft **P**, welche sie an ihrem Umfange ausüben und den Widerstand des ersten Getriebs berücksichtigen.

Fig. 47.



2) Sind vertikale und horizontale Kräfte vorhanden, deren gesonderte Summen **A** und **B** seyen, das Gewicht der Welle inbegriffen, so ist der Druck gleich

$$0,96\ \mathbf{A} + 0,4\ \mathbf{B},$$

wo **A** die größere Summe bedeutet, auf $^1/_{25}$ genau; oder gleich

$$0,83\ (\mathbf{A} + \mathbf{B}) \text{ auf } ^1/_6 \text{ genau.}$$

Diese Annäherung ist immer groß genug.

3) Hat man geneigte Kräfte, so zerlege man diese in horizontale und vertikale, und verfahre dann wie im zweiten Fall.

4) Wird in Folge der Richtung und Größe der Kräfte einer der Zapfen von unten nach oben und der andere von oben nach unten

gedrückt, so berechne man den Druck auf jeden einzelnen nach den gegebenen Vorschriften.

Dieser Fall kommt selten vor, und soll so viel wie möglich bei Konstruktionen vermieden werden.

Reibung auf einer geneigten Ebene.

278. Soll ein auf einer geneigten Ebene liegender Körper sich selbst überlassen in Ruhe bleiben, so kann der Neigungswinkel wachsen bis

$$\text{tang } a = f$$

ist, wo

a der Neigungswinkel,

f Reibungscoefficient für die in Berührung stehenden Flächen ist.

Um den Körper die schiefe Ebene hinauf zu ziehen, bedarf man der Kraft

$$P = \frac{\sin a + f \cdot \cos a}{\cos b + f \sin b} \cdot Q,$$

wo a der Neigungswinkel der schiefen Ebene,

b der Winkel der Kraft mit der schiefen Ebene,

Q das Gewicht des Körpers,

P die Kraft, die hinreicht, die Bewegung gleichförmig zu unterhalten,

f der Reibungscoefficient ist.

Ist die aufwärts bewegende Kraft horizontal, so ist

$$P = \frac{\text{tang } a + f}{1 + f \text{ tang } a} \cdot Q.$$

Keilpressen.

279. Gewöhnlich gebraucht man zwei Keile, welche auf ihren geneigten Flächen über einander gleiten. Dabei ist das Verhältniß des Nutzeffekts zur verwandten Arbeit durch die Formel

$$\frac{1 - f^2 - 2f \text{ tang } a}{(1 - f^2) \text{ tang } a + 2f'} \cdot \text{tang } a$$

gegeben, in der

a der Winkel des Keils ist,

f der Reibungscoefficient für die geneigten Ebenen der Keile,

f' der Reibungscoefficient für die Grundflächen der Keile.

Reibung bei der Schraube.

280. Für eine flache Schraube, welche den Druck **R** ausüben soll, hat man die erforderliche Kraft

$$\mathbf{P} = \frac{r}{R} \times \frac{h + 6{,}28\,f\,r}{6{,}28\,r - f\,h} \times \mathbf{Q},$$

in welcher

Q den hervorzubringenden Druck,
P die gesuchte Kraft,
r den mittleren Halbmesser der Schraube,
R den Hebelarm der Kraft,
h die Höhe des Schraubengangs, und
f den Reibungscoefficienten bedeutet.

Beispiel.

Ist

$\mathbf{Q} = 6000^{kil}$, $\mathbf{r} = 0^{m},029$, $\mathbf{R} = 1^{m},50$, $\mathbf{h} = 0^{m},0104$, $\mathbf{f} = 0{,}10$,

so hat man

$$\mathbf{P} = \frac{0{,}029}{1{,}500} \times \frac{0{,}0104 + 6{,}28 \times 0{,}10 \times 0{,}029}{6{,}28 \times 0{,}029 - 0{,}10 \times 0{,}0104} \times 6000 =$$

$$= 0{,}00305 \times 6000 = 18^{kil},30.$$

Hätte man den Einfluß der Reibung vernachlässigt, so hätte man nur

$$\mathbf{P} = \frac{h}{6{,}28\,R} \times \mathbf{Q} = 0{,}0011 \times 6000 = 6^{kil},6$$

erhalten, also beinahe nur $^1/_3$ des wahren Werthes.

281. Der Druck, der mit einer gegebenen Kraft erlangt werden kann, ist dagegen bestimmt durch die Formel

$$\mathbf{Q} = \frac{R}{r} \times \frac{6{,}28\,r - f\,h}{h + 6{,}28\,f\,r} \times \mathbf{P}.$$

Widerstand durch die Steifheit der Seile hervorgerufen.

282. Dieser Widerstand kann nach der Formel

$$\mathbf{S} = \frac{A + B\,Q}{D}$$

berechnet werden, in welcher

S die Kraft zur Ueberwindung der Steifheit des Seils in Kilogrammen bedeutet, auf den Durchmesser
D der Rolle rèducirt. Dieser ist bis zur Mitte des Seils gemessen und in Metern ausgedrückt.

A und B sind constante Faktoren, die aus den folgenden Tafeln zu nehmen sind.

Diese Tafeln sind nach folgenden Erfahrungen von Coulomb berechnet:

1. Bei nicht getheerten Seilen sind die Werthe von A und B den Quadraten der Durchmesser ungefähr proportional.

2. Bei halbverbrauchten Seilen sind A und B den Quadratwurzeln aus den 3 Potenzen der Durchmesser proportional.

3. Bei getheerten Seilen ist der Faktor B der Zahl der einzelnen Schnüre, aus denen das Seil zusammengesetzt ist, proportional.

Erste Tafel für weiße Seile.

Durchmesser des Seils.	Werth von A				Werth von B	
	neues Seil		gebrauchtes Seil		neues Seil	gebrauchtes Seil
	trocken	naß	trocken	naß		
m	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
0.008	0.035530	0.071060	0.040526	0.079620	"	"
0.010	0.055615	0.111230	0.055615	0.111230	0.002435	0.002435
0.012	0.080086	0.160172	0.073134	0.146268	0.003506	0.003202
0.014	0.109005	0.218010	0.092154	0.184308	0.004772	0.004034
0.016	0.139374	0.278748	0.125648	0.251296	0.006233	0.004928
0.018	0.178191	0.356382	0.134310	0.268620	0.007888	0.005880
0.020	0.222460	0.444920	0.157279	0.314558	0.009788	0.006885
0.022	0.269177	0.538354	0.181500	0.363000	0.011844	0.007945
0.024	0.320342	0.640684	0.206822	0.413644	0.014023	0 000054
0.026	0.375957	0.751914	0.233087	0.466174	0.016542	0.010236
0.028	0.436022	0.972044	0.270611	0.541222	0.019185	0.011408
0.030	0.499535	0.999070	0.288921	0.577842	0.022023	0.012642
0.035	0.679867	1.359734	0.365485	0.730970	0.029973	0.015929
0.040	0.889840	1.779680	0.444785	0.889570	0.038953	0.019471
0.045	1.001070	2.002140	0.531628	1.063256	0.043822	0.023229
0.050	1.390375	2.780750	0.625365	1.250730	0.050637	0.028201
0.055	1.681798	3.363596	0.716993	1.433986	0.073621	0.031387
0.060	1.998140	3.996280	0.817069	1.634138	0.088092	0.035768
0.070	1.719468	5.438936	0.928788	1 857576	0.119893	0.045036
0.080	3.559360	7.118720	1 257852	2.515704	0.155811	0.055063

Zweite Tafel für getheerte Seile.

Zahl der einzelnen Schnüre.	Durchmesser des Seils.	Werth von A.	Werth von B.
	m	kil.	kil.
6	0.0105	0.021	0.002510
9	0.0129	0.041	0.003765
12	0.0149	0.068	0.005020
15	0.0167	0.102	0 006276
18	0.0183	0.132	0.007530
21	0.0189	0.184	0.008785
24	0.0211	0.236	0.010030
27	0.0224	0.294	0.011288
30	0.0236	0.357	0.012551
33	0.0247	0.426	0.013706
36	0.0258	0.504	0.014961
39	0.0268	0.585	0.016216
42	0.0279	0.617	0.017471
45	0.0289	0.770	0.018726
48	0.0298	0.873	0.019981
51	0.0307	1.035	0.021236
54	0.0316	1.150	0.022491
57	0.0326	1.275	0.023746
60	0.0332	1.404	0.025103

Erstes Beispiel.

283. Welche Kraft muß man zur Ueberwindung der Steifheit eines trocknen weißen Seils in gutem Zustande anwenden, wenn dieses über eine Rolle von $0^m,22$ Durchmesser geht. Die Belastung sei 800^{kil} und der Durchmesser des Seils $0^m,030$.

Die erste Tafel in Nr. 282 gibt

$$A = 0^{kil},500 \text{ und } B = 0,0220;$$

es ist

$$D = 0,22 + 0,03 = 0,25;$$

damit

$$S = \frac{0,500 + 0,0220 \times 800}{0,250} = 72^{kil},5.$$

Der ganze Widerstand am Umfange der Rolle, die halbe Dicke des Seils mitgerechnet, ist somit

$$800 + 72,5 = 872^{kil},5.$$

Zweites Beispiel.

Welcher Widerstand wird durch die Steifheit eines getheerten Seils von 40 Schnüren unter denselben Umständen hervorgerufen?

Der Durchmesser des Seils ist ungefähr $0^m,027$, also

$$\mathbf{D} = 0{,}220 + 0{,}027 = 0^m{,}247.$$

In der Tafel findet man für ein getheertes Seil mit 39 Schnüren

$$\mathbf{A} = 0{,}585 \text{ und } \mathbf{B} = 0{,}0162 \text{ und damit}$$

$$\mathbf{S'} = \frac{0{,}585 + 0{,}0162 \times 800}{0{,}247} = 54^{kil}9.$$

Der Gesammtwiderstand somit

$$800 + 54{,}9 = 854^{kil},9.$$

Flaschenzüge.

284. Bei Bauten und in der Schifffahrt gebraucht man Flaschenzüge, deren Rollen unter sich gleich und in jeder Flasche um dieselbe Axe drehbar sind. Kennt man nun die Spannung, welche dem Tauwerk gegeben werden soll, oder die Last **Q**, welche erhoben werden soll, so findet man die Kraft, welche an dem freien Seilstücke angebracht werden muß, um jenes zu bewirken, nach der Formel

$$\mathbf{P} = \mathbf{a}\left(\frac{\mathbf{n}\,\mathbf{b}^{\mathbf{n}}}{\mathbf{b}^{\mathbf{n}}-1} - \frac{1}{\mathbf{b}-1}\right) + \frac{(\mathbf{b}-1)\,\mathbf{b}^{\mathbf{n}}}{\mathbf{b}^{\mathbf{n}}-1} \times \mathbf{Q}.$$

In dieser ist

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{A}}{2(\mathbf{R}-\mathbf{fr})}, \quad \mathbf{b} = \frac{\mathbf{R}+\mathbf{fr}+\frac{1}{2}\mathbf{B}}{\mathbf{R}-\mathbf{fr}},$$

und wieder

R der Radius der Rolle mit der halben Seildicke,
r der Radius der Axe,
f der Reibungscoefficient,
A und **B** die Größen der Tafel Nr. 282.
n die Zahl der Seilstücke, an denen die Last hängt.

285. Um die Rechnung nach dieser Formel zu umgehen, dient folgende Tafel:

Nummer.	Durchmesser der Rolle.	Durchmesser des Seils.	Mittlerer Radius R.	Radius der Axe r.	Zahl der Seilstücke n.	Zahl der einzelnen Schnüre.
	m	m	m	m		
1	0.032	0.008	0.0200	0.00300	4	"
2	0.060	0.012	0.0360	0.00450	6	6
3	0.100	0.015	0.0575	0.00500	6	12
4	0.120	0.018	0.0690	0.00525	8	18
5	0.150	0.020	0.0850	0.00750	8	"
6	0.200	0.030	0.1150	0.01000	4	"

Die praktischen Formeln für diese Flaschenzüge sind nun

Nummer.	Art der Seile: weiß, trocken, in gutem Stande — Durchmesser des Seils.	Formel	weiß, naß, in gutem Stande — Formel.	Zahl der Schnüre.	getheert — Formel
	m				
1	0.008	P=3.3+0.306 Q	P= 6 7+0 306 Q	"	"
2	0.012	P=4.2+0.221 Q	P= 8.4+0.221 Q	6	P=1.1+0.212 Q
3	0.015	P=4.0+0 212 Q	P= 8.0+0.212 Q	12	P=3 8+0.219 Q
4	0.018	P=6.3+0.176 Q	P=13.1+0.176 Q	18	P=4.7+0.173 Q
5	0.020	P=9 8+0.177 Q	P=19.6+0.177 Q	"	"
6	0.030	P=6.0+0.334 Q	P=11.9+0.334 Q	"	"

Erstes Beispiel.

286. Welche Kraft braucht man, um mit dem Flaschenzug Nr. 4 eine Last von 4000^{kil} Gewicht zu heben?

Die Formel der Tafel gibt

$$P = 6{,}3 + 0{,}176 \times 4000 = 710^{kil}.$$

Hätte man die Widerstände vernachläßigt, so würde

$$P = \frac{4000}{8} = 500^{kil}$$ geworden sein.

Zweites Beispiel.

Welche Spannung können 20 Mann mit dem Flaschenzuge Nr. 4 und einem Seile mit 18 Schnüren hervorrufen, wenn die Kraft jedes Manns zu 40^{kil} gerechnet wird?

Es ist $P = 20 \times 40 = 800^{kil}$ und mit der Formel der Tafel

$$Q = \frac{800 - 5}{0{,}173} = 4600^{kil}.$$

Reibung der Warzen der Krummzapfen und kreisförmiger excentrischer Scheiben.

287. Man erhält die während eines Umlaufs durch Reibung an der Warze eines Krummzapfens oder an einem cylindrischen Excentrik verlorne Arbeitsgröße durch die Formel

$$6{,}28\ f\ P\ r^{km},$$

in der

P den mittleren Druck in der Richtung der Kurbelstange gemessen,

r den Halbmesser der Warze oder des Excentriks und

f den Reibungscoefficienten bedeutet.

Bei einer Dampfmaschine von 30 Pferdekräften, bei der die Geschwindigkeit des Kolbens im Mittel $1^m,14$ beträgt, ist der mittlere Druck der Kurbelstange gegen den Krummzapfen

$$\frac{30 \times 75}{1{,}14} = 1973^{kil},7.$$

Der Halbmesser der Warze des Krummzapfens ist $r = 0^m,04$ und der Reibungscoefficient $f = 0{,}08$. Die durch Reibung an dieser Warze verlorne Arbeit beträgt für einen Umlauf

$$6{,}28 \times 0{,}08 \times 1973{,}7 \times 0{,}04 = 39^{km},69.$$

Die Zahl der Umdrehungen in 1′ ist 19, daher die verlorne Arbeit in 1 Sekunde

$$\frac{19}{60} \times 39{,}69 = 12^{km},57.$$

Bemerkung über die excentrischen Scheiben.

288. Man sieht, daß der Radius der excentrischen Scheiben immer gegen den Gang der von ihnen geführten Stangen sehr groß ist, woraus ein bedeutender Verlust an Arbeit durch Reibung folgt. Man muß daher nur dort ein Excentrik anwenden, wo der Druck sehr klein ist.

Reibung der Zähne des Räderwerks.

289. Die Arbeit, welche durch die Reibung einer Verzahnung in 1 Sekunde aufgezehrt wird, läßt sich nach der Formel

$$0{,}329\ n\ f\ Q\ \frac{m + m'}{m\ m'}\ .\ r$$

berechnen. Hier ist

n die Anzahl der Umläufe des getriebenen Rades in 1′,
Q der mittlere Druck, der auf das Getriebe übertragen wird,
f der Reibungscoefficient,
m und m′ die Zahlen der Zähne beider Räder,
r der Radius des Theilrisses für das getriebene Rad.

Beispiel.

Welche Arbeit wird durch die Reibung eines Rades mit hölzernen Zähnen und eines Getriebs von Gußeisen verloren, wenn das Rad 240, das Getriebe 60 Zähne hat, und der fortgepflanzte Druck im Mittel 360^{kil} beträgt? Das Getriebe mache 60 Umläufe in 1 Minute, der Halbmesser seines Theilrisses sei $0^{m},50$.

Sind die Zähne im gewöhnlich fetten Zustande erhalten, so ist $f = 0{,}08$ und die verlorne Arbeit

$$0{,}329 \times 60 \times 0{,}08 \times 360 \times \frac{240+60}{240 \times 60} \times 0{,}50 = 5^{kil},92.$$

Fuhrwerke.

290. Zahlreiche in den Jahren 1837, 1838, 1839, 1840 und 1841 angestellte Versuche über Fuhrwerke *), sowohl in Federn hängende als solche ohne Federn auf Steinpflaster oder beschotterten Straßen in verschiedenen Zuständen haben zu folgenden Sätzen geführt:

Der Widerstand gegen den Zug ist auf Steinpflaster und auf festgefahrener Bahn einer beschotterten Straße und bezogen auf die Axe der Räder, parallel mit der Bahn

1° proportional dem Drucke und umgekehrt proportional dem Durchmesser der Räder,

2° unabhängig von der Zahl der Räder und beinahe unabhängig von der Felgenbreite der Räder.

*) Expériences sur le tirage des voitures et sur les effets destructeurs qu'elles exercent sur les routes; par A. Morin. Paris 1842. L. Mathias libraire.

Auf zusammendrückbarem Boden, auf Erde, Sand, Kies, frisch beschotterten Straßen nimmt dieser Widerstand ab, wenn die Breite der Felgen zunimmt.

Auf weichem und zusammendrückbarem Boden, wie auf Erde, Sand, den Erdbahnen im guten Zustande oder mit Geleisen ist der Widerstand unabhängig von der Geschwindigkeit.

Im Schritt, 1^{m} in 1 Sekunde, ist auf gutem Pflaster oder Steinstraßen der Widerstand merklich derselbe, ob das Fuhrwerk in Federn hängt oder nicht.

Auf Schotterstraßen und auf Pflaster wächst der Widerstand mit der Geschwindigkeit, so daß die Zunahmen beinahe proportional sind, wenn man von der Geschwindigkeit 1^{m} ausgeht.

Diese Zunahme des Widerstandes mit der Geschwindigkeit ist um so geringer, je elastischer das Fuhrwerk und je besser die Straße ist. Sie ist für die Geschwindigkeiten Schritt und starker Trab bei gut aufgehängten Eilwagen auf sehr guter Schotterstraße sehr gering.

Auf gutem Pflaster, gut gestellt und sehr eben, ist im Schritte der Widerstand nur $^{3}/_{4}$ von dem auf den besten Schotterstraßen; für gut gehängte Wagen ist auf Pflaster beim Trabe der Widerstand eben so groß, als auf gut erhaltenen Schotterstraßen. Aber auf einem nur mittelmäßig unterhaltenen Pflaster, das schlecht gelegt ist und breite Fugen hat, wie das Pariser, ist im Trabe der Widerstand auch bei den best gehängten Wagen größer als auf guten Schotterstraßen.

Die vortheilhafteste Neigung der Ziehstränge wächst im Allgemeinen mit dem Widerstande des Bodens, und ist um so größer, je kleiner die Vorderräder sind. Für die gewöhnlichen Straßen muß man sich der horizontalen Richtung so viel als es die Construktion des Fuhrwerks erlaubt, nähern.

Andere Versuche über den Angriff der Fuhrwerke auf die Straßen haben zu folgenden Schlüssen geführt:

1. Bei gleicher Belastung bringen Räder mit 0^{m},060 Felgenbreite auf Schotterstraßen viel bedeutenderen Schaden hervor, als Räder, deren Felgen 0^{m},115 und 0^{m},175 Breite haben; allein

bei diesen beiden ist der Unterschied unbedeutend. Es ist deßhalb zur Schonung der Straßen nicht erforderlich, eine größere Felgenbreite als $0^m,12$ zu verlangen; noch mehr findet dieß Anwendung auf gepflasterte Straßen.

2. Bei gleicher Belastung und gleicher Radbreite greifen die kleineren Räder die Straßen mehr an, als die mit größerem Durchmesser.

3. Die Vertheilung der Last auf mehrere Züge bringt eine Vertheilung des Drucks und damit Verminderung der Abnutzung der Straße hervor.

4. Der Transport eines gegebenen Gewichtes durch Wagen, wie sie in der Franche-Comte üblich sind, mit Felgen von $0^m,06$ Breite, schont die Straßen mehr, als die Verführung dieses Gewichtes auf Karren und Güterwagen mit breiten Felgen und Belastungen, wie sie die alten Verordnungen erlauben.

5. In Federn gehängte Wagen, welche im Trab 12000 bis 13000 Meter in der Stunde gehen, greifen die Straßen weniger an, als Fuhrwerke ohne Federn im Schritt.

In der folgenden Tafel sind die Resultate der Erfahrungen auf die gewöhnlichen Fahrzeuge angewendet.

Bezeichnung der Straße.		Lafetten und Artilleriekarren. $f_\varrho = 0^m,00247$ $\varrho = 0^m,10$ bis $0^m,12$ $r' = r'' = 0^m,782$ $r' + r'' = 1^m,564$	Artilleriewagen. $f_\varrho = 0^m,00247$ $\varrho = 0^m,070$ bis $0^m,075$ $r' = 0^m,038$ $r'' = 0^m,575$ $r' + r'' = 0^m,780$ $r' + r'' = 1^m,355$	Wagen der Franche-Comte. $f_\varrho = 0^m,00175$ $\varrho = 0^m,06$ bis $0^m,07$ $r' = 0^m,027$ $r'' = 0^m,625$ $r' + r'' = 0^m,725$ $r' + r'' = 1^m,35$
Erddamm, sehr gut, beinahe trocken		$\frac{1}{34,8}$	$\frac{1}{30,1}$	$\frac{1}{31,0}$
Fester Damm mit einer Kieslage von $0^m,03$ bis $0^m,04$ Dicke		$\frac{1}{13,6}$	$\frac{1}{11,8}$	$\frac{1}{11,9}$
Fester Damm mit einer Kieslage von $0^m,05$ bis $0^m,06$ Dicke		$\frac{1}{11,6}$	$\frac{1}{10,1}$	$\frac{1}{10,1}$
Fester Boden auf $0^m,10$ bis $0^m,15$ Höhe mit Kies bedeckt, oder neue Straße		$\frac{1}{10,8}$	$\frac{1}{9,3}$	$\frac{1}{9,4}$
Straße mit nicht gebahntem Schnee bedeckt		$\frac{1}{18,4}$	$\frac{1}{16,0}$	$\frac{1}{16,2}$
Fester Boden mit einer Sandschichte bedeckt, dem Kiesel von $0^m,10$ bis $0^m,15$ Dicke beigemengt sind . .		$\frac{1}{10,2}$	$\frac{1}{8,1}$	$\frac{1}{8,9}$
In sehr gutem Stande, sehr trocken und eben	Schritt	$\frac{1}{62,7}$	$\frac{1}{54,3}$	$\frac{1}{57,5}$
	Trab	$\frac{1}{50,5}$		
Ein wenig feucht oder mit Staub bedeckt, mit einigen freiliegenden Schotterstücken		$\frac{1}{44,8}$	$\frac{1}{38,7}$	$\frac{1}{40,3}$
Sehr hart, mit groben Schottern, naß		$\frac{1}{54,1}$	$\frac{1}{46,8}$	$\frac{1}{49,1}$
Hart, mit leichten Geleisen und weichem Schlamm		$\frac{1}{34,8}$	$\frac{1}{30,1}$	$\frac{1}{31,0}$
Hart mit Geleisen und Koth .		$\frac{1}{28,5}$	$\frac{1}{24,6}$	$\frac{1}{25,2}$

Schotterstraße.

Frachtwagen $l = 0^m,10$ bis $0^m,12$ $\varrho = 0^m,032$.			Karren $l = 0^m,10$ bis $0^m,12$ $\varrho = 0^m,032$		Eilwagen der königlichen und allgemeinen Messagerieen.	Wagen mit aufgehängten Sitzen.
$r' = 0^m,450$ $r'' = 0^m,750$ $r' + r'' = 1^m,25$ $f_\varrho = 0^m,00208$	$r' = 0^m,55$ $r'' = 0^m,85$ $r' + r'' = 1^m,40$ $f_\varrho = 0^m,00208$	$r' = 0^m,80$ $f_\varrho = 0^m,00208$	$r' = 1^m,00$ $f_\varrho = 0^m,00208$		$l = 0^m,10$ bis 0^m12 $\varrho = 0^m,032$ $r' + r'' = 1^m,15$ $f_\varrho = 0^m,00208$.	$l = 0^m,07$ bis $0^m,08$ $\varrho = 0^m,027$ $r' = 0^m,45$ $r'' = 0^m,70$ $r' + r'' = 1^m,15$ $f_\varrho = 0^m,00175$.
$\frac{1}{27,2}$	$\frac{1}{31,7}$	$\frac{1}{36,3}$	$\frac{1}{45,4}$	Schritt u. Trab	$\frac{1}{26,1}$	Schritt u. Trab $\frac{1}{26,4}$
$\frac{1}{10,5}$	$\frac{1}{12,3}$	$\frac{1}{14,0}$	$\frac{1}{17,5}$	Schritt u. Trab	$\frac{1}{10,1}$	Schritt u. Trab $\frac{1}{10,1}$
$\frac{1}{8,9}$	$\frac{1}{10,4}$	$\frac{1}{11,9}$	$\frac{1}{14,9}$	Schritt u. Trab	$\frac{1}{8,6}$	Schritt u. Trab $\frac{1}{8,6}$
$\frac{1}{8,3}$	$\frac{1}{9,7}$	$\frac{1}{11,1}$	$\frac{1}{13,9}$	Schritt u. Trab	$\frac{1}{8,0}$	Schritt u. Trab $\frac{1}{8,0}$
$\frac{1}{14,3}$	$\frac{1}{16,7}$	$\frac{1}{19,0}$	$\frac{1}{23,8}$		$\frac{1}{13,7}$	
$\frac{1}{7,9}$	$\frac{1}{9,2}$	$\frac{1}{10,5}$	$\frac{1}{13,1}$	Schritt u. Trab	$\frac{1}{7,5}$	Schritt u. Trab $\frac{1}{6,9}$
$\frac{1}{49,9}$	$\frac{1}{58}$	$\frac{1}{66,2}$	$\frac{1}{82,8}$	Schritt	$\frac{1}{47,6}$	Schritt $\frac{1}{49}$
				Trab	$\frac{1}{40,9}$	Trab $\frac{1}{41,8}$
				Scharfer Trab	$\frac{1}{39,7}$	Scharfer Trab $\frac{1}{40,6}$
$\frac{1}{35,2}$	$\frac{1}{41}$	$\frac{1}{47,0}$	$\frac{1}{58,6}$	Schritt	$\frac{1}{33,7}$	Schritt $\frac{1}{34,3}$
				Trab	$\frac{1}{26,8}$	Trab $\frac{1}{27,2}$
				Scharfer Trab	$\frac{1}{24,3}$	Scharfer Trab $\frac{1}{24,6}$
$\frac{1}{42,8}$	$\frac{1}{49,8}$	$\frac{1}{56,9}$	$\frac{1}{71,0}$	Schritt	$\frac{1}{40,8}$	Schritt $\frac{1}{41,8}$
				Trab	$\frac{1}{26,5}$	Trab $\frac{1}{27}$
				Scharfer Trab	$\frac{1}{22,6}$	Scharfer Trab $\frac{1}{22,8}$
$\frac{1}{27,2}$	$\frac{1}{31,7}$	$\frac{1}{36,2}$	$\frac{1}{45,2}$	Schritt	$\frac{1}{26,1}$	Schritt $\frac{1}{26,4}$
				Trab	$\frac{1}{21,7}$	Trab $\frac{1}{22}$
				Scharfer Trab	$\frac{1}{20,0}$	Scharfer Trab $\frac{1}{20,3}$
$\frac{1}{22,2}$	$\frac{1}{25,8}$	$\frac{1}{29,5}$	$\frac{1}{36,9}$	Schritt	$\frac{1}{21,0}$	Schritt $\frac{1}{21,5}$
				Trab	$\frac{1}{18,5}$	Trab $\frac{1}{18,5}$
				Scharfer Trab	$\frac{1}{17,2}$	Scharfer Trab $\frac{1}{17,2}$

Bezeichnung der Straße.		Lafetten und Artilleriekarren.	Artilleriewagen.	Wagen der Franche-Comte.
		$f_\varrho = 0^m,00247$	$f_\varrho = 0^m,00247$	$f_\varrho = 0^m,00175$
Schotterstraße.	Sehr verfahren, mit dickem Kothe	$\frac{1}{24,1}$	$\frac{1}{20,8}$	$\frac{1}{21,3}$
	Sehr aufgerissen, mit Geleisen von $0^m,06$ bis $0^m,08$ Tiefe und dickem Kothe	$\frac{1}{18,4}$	$\frac{1}{15,9}$	$\frac{1}{16,2}$
	Sehr schlecht, tiefe Geleise von $0^m,10$ bis $0^m,12$, dicker Koth, der Grund hart und rauh .	$\frac{1}{16,5}$	$\frac{1}{14,3}$	$\frac{1}{14,4}$
	Sehr gutes Metzer Pflaster (Sierker Sandstein)	$\frac{1}{80,9}$	$\frac{1}{70,0}$	$\frac{1}{75,5}$
Pariser Pflaster aus Sandstein von Fontainebleau.	Gewöhnlich trocken	$\frac{1}{75,7}$	$\frac{1}{64,6}$	$\frac{1}{69,2}$
	Ebenso	$\frac{1}{74,7}$	"	"
	Gewöhnlicher Zustand, naß und mit Koth bedeckt . .	$\frac{1}{58,1}$	$\frac{1}{50,3}$	$\frac{1}{52,9}$
	Brückenbahn von Holz	$\frac{1}{54,1}$	$\frac{1}{46,8}$	$\frac{1}{49,1}$

Frachtwagen $l = 0^m,10$ bis $0^m,12$ $\varrho = 0^m,032$.				Karren $l = 0^m,10$ bis $0^m,12$ $\varrho = 0^m,032$				Eilwagen der königlichen und allgemeinen Messagerien.		Wagen mit aufgehängten Sitzen.	
$r' = 0^m,450$ $r'' = 0^m,750$ $r' + r'' = 1^m,20$ $f_\varrho = 0^m,00208$	$r' = 0^m,55$ $r'' = 0^m,85$ $r' + r'' = 1^m,40$ $f_\varrho = 0^m,00208$	$r' = 0^m,80$ $f_\varrho = 0^m,00208$	$r' = 1^m,00$ $f_\varrho = 0^m,00208$					$l = 0^m,10$ bis $0^m,12$ $\varrho = 0^m,032$ $r' + r'' = 1^m,15$ $f_\varrho = 0^m,00208$.		$l = 0^m,07$ bis $0^m,08$ $\varrho = 0^m,027$ $r' = 0^m,45$ $r'' = 0^m,70$ $r' + r'' = 1^m,15$ $f_\varrho = 0^m,00175$	
$\frac{1}{18,7}$	$\frac{1}{21,8}$	$\frac{1}{24,9}$	$\frac{1}{31,1}$	Schritt	$\frac{1}{17,9}$			Schritt	$\frac{1}{18,1}$	Schritt	$\frac{1}{18,1}$
				Trab	$\frac{1}{15,8}$			Trab	$\frac{1}{15,9}$	Trab	$\frac{1}{15,9}$
				Scharfer Trab	$\frac{1}{14,9}$			Scharfer Trab	$\frac{1}{15,0}$	Scharfer Trab	$\frac{1}{15,0}$
$\frac{1}{14,3}$	$\frac{1}{16,7}$	$\frac{1}{19,0}$	$\frac{1}{23,8}$	Schritt	$\frac{1}{13,7}$			Schritt	$\frac{1}{13,8}$	Schritt	$\frac{1}{13,8}$
				Trab	$\frac{1}{12,4}$			Trab	$\frac{1}{12,5}$	Trab	$\frac{1}{12,5}$
				Scharfer Trab	$\frac{1}{11,8}$			Scharfer Trab	$\frac{1}{11,9}$	Scharfer Trab	$\frac{1}{11,9}$
$\frac{1}{12,7}$	$\frac{1}{14,9}$	$\frac{1}{17,0}$	$\frac{1}{21,2}$	Schritt	$\frac{1}{12,2}$			Schritt	$\frac{1}{12,3}$	Schritt	$\frac{1}{12,3}$
				Trab	$\frac{1}{10,5}$			Trab	$\frac{1}{9,9}$	Trab	$\frac{1}{9,9}$
$\frac{1}{64,7}$	$\frac{1}{75,5}$	$\frac{1}{86,3}$	$\frac{1}{107,9}$	Schritt	$\frac{1}{62,0}$			Schritt	$\frac{1}{64,2}$	Schritt	$\frac{1}{64,2}$
				Trab	$\frac{1}{42,0}$			Trab	$\frac{1}{43,0}$	Trab	$\frac{1}{43,0}$
				Scharfer Trab	$\frac{1}{36,2}$			Scharfer Trab	$\frac{1}{37,0}$	Scharfer Trab	$\frac{1}{37,0}$
$\frac{1}{59,6}$	$\frac{1}{69,5}$	$\frac{1}{79,9}$	$\frac{1}{99,9}$	Schritt	$\frac{1}{57,1}$			Schritt	$\frac{1}{59}$	Schritt	$\frac{1}{59}$
				Trab	$\frac{1}{38,1}$			Trab	$\frac{1}{39,0}$	Trab	$\frac{1}{39,0}$
				Scharfer Trab	$\frac{1}{32,7}$			Scharfer Trab	$\frac{1}{33,4}$	Scharfer Trab	$\frac{1}{33,4}$
"	"	"	"	Schritt	$\frac{1}{57,1}$			Schritt	$\frac{1}{59}$	Schritt	$\frac{1}{59}$
				Trab	$\frac{1}{40,9}$			Trab	$\frac{1}{41,8}$	Trab	$\frac{1}{41,8}$
				Scharfer Trab	$\frac{1}{35,8}$			Scharfer Trab	$\frac{1}{36,5}$	Scharfer Trab	$\frac{1}{36,5}$
$\frac{1}{46,0}$	$\frac{1}{53,5}$	$\frac{1}{61,2}$	$\frac{1}{76,5}$	Schritt	$\frac{1}{44,0}$			Schritt	$\frac{1}{45,1}$	Schritt	$\frac{1}{45,1}$
				Trab	$\frac{1}{32,9}$			Trab	$\frac{1}{34,5}$	Trab	$\frac{1}{34,5}$
				Scharfer Trab	$\frac{1}{29,2}$			Scharfer Trab	$\frac{1}{29,8}$	Scharfer Trab	$\frac{1}{29,8}$
$\frac{1}{42,8}$	$\frac{1}{49,8}$	$\frac{1}{69}$	$\frac{1}{71}$	Schritt u. Trab	$\frac{1}{40,8}$			Schritt u. Trab	$\frac{1}{41,8}$	Schritt u. Trab	$\frac{1}{41,8}$

Mit Hilfe dieser Tafel kann man leicht die Zugkraft finden, welche bei einem bestimmten Fuhrwerke und einem bestimmten Gewichte anzuwenden ist.

Erstes Beispiel.

Welche Zugkraft ist für einen Eilwagen der allgemeinen Messagerien erforderlich, wenn dieser 4400^{kil} wiegt und im scharfen Trab auf einem Pflaster aus Sandstein von Fontainebleau fährt?

Die Tafel gibt für den Coefficienten des Zugs $\frac{1}{32,7}$; also ist die Zugkraft

$$\frac{4400}{32,7} = 134^{kil},5.$$

Jedes der gewöhnlich angespannten 5 Pferde hat also die Kraft

$$\frac{134,5}{5} = 26^{kil},9 \text{ aufzuwenden.}$$

Zweites Beispiel.

Welche Zugkraft braucht man für denselben Wagen auf einer Schotterstraße mit Geleisen, die mit dickem Koth erfüllt sind, im scharfen Trab?

Die Tafel gibt den Coefficienten $\frac{1}{14,9}$; die Zugkraft ist daher

$$\frac{4400}{14,9} = 295^{kil},5.$$

Jedes der 6 Pferde, welche man nun vorspannen muß, hat die mittlere Anstrengung

$$\frac{295,5}{6} = 49^{kil},2.$$

Festigkeit der Materialien
und
Stabilität der Konstruktionen.

Regeln über feste Körper, die der Zusammenpressung ausgesetzt sind, wie Mauern, Säulen, Pfeiler ꝛc.

291. Die Versuche von Rondelet, Gauthey, Rennie und Vicat haben gezeigt

1. Daß die physischen Eigenschaften der Steine, wie Härte, specifisches Gewicht, Farbe, nicht auf ihre Festigkeit schließen lassen.

2. Daß in demselben Steinbruche die Steine von den obern oder von den untern Schichten weniger fest sind, als die aus den mittlern.

3. Daß bei ähnlichen Figuren der Widerstand dem Querschnitte proportional ist.

4. Daß bei demselben Steine der Widerstand am größten ist, wenn er eben so hoch als dick ist.

5. Daß die Steine nur sehr wenig zusammendrückbar sind, daß sie aber bei gehörig starkem Drucke plötzlich in viele Stücke zerfallen.

6. Daß der Widerstand der Träger um so mehr abnimmt, aus je mehr Theilen sie zusammengesetzt sind.

7. Daß man bei den gewöhnlichen Konstruktionen die Mauerwerke aus gehauenen Steinen nur mit $^1/_{10}$ und die Mauerwerke aus Bruchsteinen nur mit $^1/_{20}$ des Gewichtes belasten soll, welches die Materialien, aus denen sie zusammengesetzt sind, tragen können, ohne zerdrückt zu werden.

8. Hölzer, welche der Zusammenpressung ausgesetzt sind, bei denen die Länge ihre Dicke nicht viel überschreitet, spalten sich der Länge nach; überschreitet aber die Länge die Dicke 10 bis 12mal, so biegen sie sich und zerbrechen.

9. Die dauernden Belastungen, welche man Hölzern geben darf, sind $^1/_{10}$ von denen, die das Spalten oder das Zerbrechen hervorbringen würden.

10. Bei Gußeisen kann man $^1/_5$ dieser größten Belastung nehmen.

Nach diesen Bemerkungen ist folgende Tafel aufgestellt, welche die Gewichte gibt, mit denen man die Stücke mit Sicherheit belasten darf.

292. Zahl der Kilogramme, mit denen man sicher jedes Quadratcentimeter des Querschnitts belasten darf.

Bezeichnung des Körpers.	Verhältniß der Länge zur kleinsten Dimension. unter 12	12	24	48	60
	kil	kil	kil	kil	kil
Starke Eiche	30,0	25,0	15,0	5,0	2,5
Schwache Eiche	19,0	8,4	5,6	"	"
Rothtanne	40,5	35,0	20,0	7,5	"
Weißtanne	9,7	8,2	4,9	"	"
Schmiedeisen	1000,0	835,0	500,0	167,0	84,0
Gußeisen	2000,0	1670,0	1000,0	333,0	167,0
Geschmolzenes Kupfer	823,0	"	"	"	"

Bezeichnung des Körpers.	Belastung.	Gewicht des Kubikdecimeters.
	kil	kil
Basalt	200	2,95
Porphyr	247	2,87
Granit	70	2,66
	42	2,64
Sandstein	87	2,50
	0,4	2,40
Marmor, harter	79	2,72
	44	2,44
Kalkstein	31	2,36
	12	2,00
Backstein, sehr stark gebrannt	15	1,56
Backstein, rother	6	2,17
blasser	4	2,09
Gyps mit Wasser angemacht	5	"
Gyps mit Kalkmilch bereitet	7,3	"
Gewöhnlicher Mörtel	3,5	"
Cementmörtel, mit zerstoßenen Ziegeln	4,8	"
Mörtel mit zerstoßenem Sandstein	2,9	"
Mörtel mit Puzzolanerde	3,7	"
Beton von 18 Monaten	4,0	"

Werden Bruchsteine angewendet, so darf man nur die Hälfte dieser Zahlen, die für gehauene Steine gelten, nehmen.

293. Pfähle, welche seitwärts vom Erdreiche gehalten werden, können wenigstens mit 30 bis 35^{kil} auf den Quadratcentimeter belastet werden. Die Pfähle sollen eingerammt werden bis jede der letzten Hitzen von 30 Schlägen einer Katze von 300 bis 400^{kil}, die 1^{m},30 hoch herabfällt, ein Eindringen von nur 8 bis 10 Millimeter hervorbringt.

Erstes Beispiel.

Ein Bau, dessen Gewicht 15000000^{kil} wird, soll auf eingerammte Pfähle von 0^{m},3 Durchmesser gegründet werden. Wie viele bedarf man?

Die obige Regel gibt für die Tragfähigkeit eines einzelnen

$$0{,}785 \times (30^2) \times 35 = 24745^{kil},$$

man muß also

$$\frac{15000000}{24745} = 606$$ Pfähle schlagen, welche man so stellen muß, daß sich die Last gleichförmig vertheilt.

Zweites Beispiel.

Dasselbe Werk soll auf Beton von gutem hydraulischem Mörtel gegründet werden; wie groß muß die Fläche seyn, in welcher es auf dem Beton ruht?

Nach der nebenstehenden Tafel hat man

$$\frac{15000000}{40000} = 375^{mq},$$

wobei vorausgesetzt, daß die Last gleichförmig vertheilt ist.

Wäre dem nicht so, so würde man für jeden Theil der Gründung eine besondere Rechnung anstellen.

Anmerkung. Häufig muß man die Nachgiebigkeit des Bodens bei der Bestimmung berücksichtigen, wie weit die Betonnirung ausgedehnt werden soll.

Ausdehnung der Körper durch Ziehen.

294. Die Ausdehnung eines prismatischen Körpers, der nach seiner Länge von einem Gewichte gezogen wird, findet man durch die Formel

$$\varepsilon = \frac{P}{EA},$$

in welcher

ε die Verlängerung des Körpers auf den laufenden Meter,
P das ausdehnende Gewicht,
A den Querschnitt in Quadratmillimetern, und
E den Elasticitätsmodul bedeutet.

Diesen Elasticitätsmodul findet man in der folgenden Tafel, in welcher man noch die größte zulässige Ausdehnung, und das Gewicht, welches diese hervorbringt, findet.

	Ausdehnung an der Grenze der Elasticität.	Belastung hierzu auf den Quadratmillimeter.	Elasticitätsmodul für den Quadratmillimeter.
		kil	kil
Eiche	$\frac{1}{600} = 0.00167$	2.00	1200
Weißtanne	$\frac{1}{850} = 0.00117$	2.17	1300
Rothtanne oder Fichte	$\frac{1}{470} = 0.00210$	3.15	1500
Lärche	$\frac{1}{620} = 0.00192$	1.73	900
Buche, roth	$\frac{1}{570} = 0.00175$	1.63	930
Esche	$\frac{1}{885} = 0.00113$	1.27	1120
Ulme	$\frac{1}{414} = 0.00242$	2.33	970
Eisen, in dünnen Dräthen . .	$\frac{1}{1250} = 0.00080$	14.75	18000
in Stäben	$\frac{1}{1520} = 0.00066$	12.205	20000
Stahl, deutscher, sehr guter . .	$\frac{1}{835} = 0.00120$	25.00	21000
Guß-, gehärtet	$\frac{1}{4500} = 0.00022$	66.00	30000
Gußeisen, feinkörnig	$\frac{1}{1200} = 0.00083$	10.00	12000
Kupferdrath	"	"	13000
Messingdrath	$\frac{1}{742} = 0.00135$	15.00	10000
Messing, gegossen	$\frac{1}{1320} = 0.00076$	4.80	6450
Kanonengut	$\frac{1}{1590} = 0.00063$	2.00	3200
Bleidrath (4 Mill. Durchm. rein)	$\frac{1}{1490} = 0.00067$	0.40	600
(6 Mill. Durchm. unrein)	$\frac{1}{2000} = 0.00050$	0.40	800
Blei, gewöhnliches, geschmolzen	$\frac{1}{477} = 0.00210$	1.00	500

Beispiel über den Gebrauch dieser Tafel.

295. Welche Ausdehnung erleidet eine runde Eisenstange von $0^m,025$ Durchmesser und 8 Meter Länge bei einer Belastung mit 4000^{kil}?

Die Belastung für jeden Millimeter des Querschnitts ist

$$\frac{4000 \times 1,273}{(25)^2} = 8^{kil},15.$$

Diese ist unter der Grenze, die in der Tafel angegeben (12,205). Die Formel der vorhergehenden Nummer gibt nun die Verlängerung für den laufenden Meter

$$\varepsilon = \frac{8,15}{20000} = 0^m,000408,$$

und also die Verlängerung der ganzen Stange

$$8 \times 0,000408 = 0^m,003264.$$

Anmerkung. Es ist bei diesen Rechnungen nothwendig, sich zu überzeugen, daß durch die Belastung die Elasticitätsgrenze nicht überschritten werde.

296. Bei Konstruktionen mit fortdauernder Belastung ist es klug, die Körper nur bis zur Hälfte von dem Gewichte zu belasten, welches der Grenze der Elasticität entspricht.

Bei Konstruktionen aber, die nur auf kurze Zeit, vorübergehend belastet werden, und bei denen Leichtigkeit Bedingung ist, kann man diese Belastung bis zu $^3/_4$ jener Grenze ansteigen lassen. Dagegen muß man bei Belastungen, die zufällig sehr erhöht werden können, dort wo Stöße vorkommen, wie z. B. bei Preßschrauben und dgl. einen Ueberschuß von Festigkeit geben.

Absolute Festigkeit.

297. Die nachfolgende Tafel enthält die Belastungen, welche man mit Sicherheit an einen Stab von 1 Quadratmillimeter Querschnitt anhängen kann. Es ist hierzu bei Holz $^1/_{10}$ des Gewichtes angenommen, das ein Zerreißen hervorbringt; bei Metallen $^1/_6$.

Bezeichnung der Körper.		Zulässige Belastung auf 1 Qu. Millimeter.
Ahorn		1,2
Akazie		1,1
Birke		1,0
Buche		1,4
Eiche		1,2
Erle		1,0
Esche		1,2
Fichte		0,8
Kiefer		1,0
Lärche		0,7
Mahagony		1,2
Pappel		0,5
Roßkastanie		0,8
Teak		1,1
Tanne		0,8
Ulme		1,0
Weißbuche		1,4
Schmiedeisen,	das stärkste	10,0
	das schwächste	4,2
	mittel	6,7
Eisenblech		6,5
Eisendrath		15,0
		8,3
		10,0
Eisendrath in Bündeln oder Tauen		5,0
Eiserne Ketten	gewöhnliche, mit länglichen Gliedern	4,0
	verstärkt durch Stege	5,4
Gußeisen, grau		2,2
Stahl, der beste, in kleinen Stücken		16,7
	der schlechteste	6,0
	mittlerer	12,5
Kanonengut		3,8
Kupfer, gewalzt		3,5

Bezeichnung der Körper.	Zulässige Belastung auf 1 Qu. Millimeter.
Kupfer, geschlagen	4,2
gegossen	2,3
Messing	2,1
Kupferdrath	8,3
Messingdrath	8,3
Zinn, gegossen	0,5
Zink, gegossen	1,0
gewalzt	0,8
Blei, gegossen	0,2
gewalzt	0,2
Bleidrath	0,2
Taue und Seile aus Hanf von Straßburg, 0^m,013 bis 0^m,014 Durchmesser	4,4
aus Lothringer Hanf	3,3
von 0^m,023 Durchmesser	3,0
von 0^m,040 bis 0^m,054 Durchmesser	2,8
Altes Tau von 0^m,023 Durchmesser	2,1
Riemen von schwarzem Leder	0,2

Erstes Beispiel.

298. Eine Kolbenstange von Eichenholz soll 7000^{kil} tragen, welchen Querschnitt muß sie erhalten?

Nach der vorstehenden Tafel findet man den Querschnitt

$$= \frac{7000}{1,2} = 5833 \text{ Quadratmillimeter, und}$$

also die Seite bei quadratischem Querschnitte $= \sqrt{5833} = 0^m,076$.

Zweites Beispiel.

Eine gewöhnliche eiserne Kette soll 1500^{kil} tragen, wie dick muß das Eisen seyn, aus dem sie hergestellt ist?

Ist d der Durchmesser, so ist der Querschnitt beider Theile des Rings

$$= 2 \times 0,785\ d^2$$

und dieß muß $= \frac{1500}{4,0} = 375$ Quadratmillimeter seyn. Man hat also

$$d = \sqrt{\frac{375}{2 \times 0,785}} = 15,4 \text{ Millimeter.}$$

Drittes Beispiel.

Ein lederner Riemen von $0^m,003$ Dicke soll einen Zug von 125^{kil} fortpflanzen; wie breit muß er seyn?

Man findet nach der Tafel den Querschnitt

$$= \frac{125}{0,2} = 625 \text{ Quadratmillimeter, also die Breite}$$

$$= \frac{625}{3} = 208 \text{ Millimeter.}$$

Erforderliche Kraft um Holzschrauben auszureißen.

299. Holzschrauben von $0^m,050$ Länge, $0^m,0056$ äußerem Durchmesser und $0^m,0028$ im Kern, die mit 12 Gängen in Brettern von $0^m,027$ Dicke stecken, können mit Sicherheit folgende Gewichte tragen:

Im Tannenholz	35^k
„ Eichenholz	68
„ trockenem Eschenholz	71
„ Ulmenholz	59

Feste Körper, einer Biegung durch Kräfte, rechtwinklich auf die Länge ausgesetzt.

300. Bei der Berechnung der Dimensionen solcher Körper, die Biegungen ausgesetzt sind, muß man unterscheiden, ob eine bestimmte Biegung zulässig ist, oder ob diese verschwindend klein seyn soll.

Die Balken und gewöhnlichen Träger sind im ersten Fall; die Wellen der Wasserräder oder des Räderwerks, der Zahnräder, die Zapfen ꝛc. gehören zum zweiten, und hiernach müssen die numerischen Coefficienten gewählt werden.

Der Körper ist am einen Ende befestigt.

301. In den folgenden Formeln nennen wir

P den Druck auf den Körper, rechtwinklich auf seine Länge,
c die Länge des nicht befestigten Theils bis zu dem Angriffspunkte des Drucks P, oder dessen Hebelsarm,
a die Breite des Körpers, horizontal und rechtwinklich auf die Länge gemessen,
b die Dicke desselben in der Richtung der Kraft P,
d den Durchmesser des Körpers, wenn er cylindrisch ist.

Die Gewichte und Belastungen sind in Kilogrammen, die Dimensionen in Metern zu verstehen.

Prismen am einen Ende befestigt.

302. Kann man das Gewicht des Körpers vernachlässigen, so wendet man folgende Formeln an

für Gußeisen . . . . . $a b^2 = \frac{P c}{1250000}$

„ Schmiedeisen . . . . . $a b^2 = \frac{P c}{1000000}$

„ Eichen oder Tannenholz . . . . $a b^2 = \frac{P c}{100000}$

Gleichförmig vertheilte Belastung.

303. Ist die Belastung auf die ganze Länge des Körpers gleichförmig vertheilt, so nenne man p die Belastung auf den laufenden Meter und rechne dann nach folgenden Formeln:

für Gußeisen . . . . . $a b^2 = \frac{p c^3}{2500000}$

„ Schmiedeisen . . . . . $a b^2 = \frac{p c^2}{2000000}$

„ Eichen- und Tannenholz . . . . $a b^2 = \frac{p c^2}{200000}$

Anmerkung. Man sieht, daß diese Formeln für Schmiedeisen viel stärkere Dimensionen geben als für Gußeisen, was daher rührt, daß das Schmiedeisen weit biegsamer ist als Gußeisen, und man die Träger keine zu große Biegungen annehmen lassen darf. Sind die Stücke Stößen ausgesetzt, so muß man jederzeit das Schmiedeisen dem Guß vorziehen.

Verhältniß zwischen Breite und Dicke.

304. Man kann bei Anwendung dieser Formeln ein Verhältniß zwischen Breite und Dicke annehmen.

Für Balken hat die Erfahrung als passend das Verhältniß der Breite zur Dicke wie 5 zu 7 gezeigt; man hat dann $a = \frac{5}{7} b$, und folglich die Formel, welche die Höhe eines am einen Ende befestigten und am andern belasteten Balkens gibt,

$$b^3 = \frac{P c}{71429}.$$

Beispiel.

Welche Dimensionen muß man einem am einen Ende eingemauerten Balken geben, welcher am andern 750 Kilogramm tragen soll, wenn die Länge desselben $1^m,75$ beträgt?

Die letzte Formel gibt

$$b^3 = \frac{750 \times 1,75}{71429} = 0,0184; \quad b = 0^m,264, \text{ und } a = 0^m,189.$$

Allgemeine Bemerkung über das Gewicht der Körper.

305. Will man das eigene Gewicht des Körpers in Rechnung ziehen, dessen Dimensionen noch nicht bekannt sind, so berechnet man zuerst diese Dimensionen, indem man das Gewicht vernachläßigt, bestimmt hiernach das Gewicht des Körpers, und berechnet nun wieder die Dimensionen, welche derselbe erhalten muß, wobei man die Hälfte des gefundenen Gewichts zu der Belastung addirt.

Nach dieser Bemerkung, welche überall Anwendung findet, wo das eigene Gewicht des Körpers in Betracht kommt, begnügen wir uns in Zukunft, nur immer die äußere Belastung **P** in Rechnung zu ziehen.

Der Querschnitt des Prisma's ist ein Quadrat.

306. Ist der Querschnitt ein Quadrat, so hat man $a = b$, und die Formeln werden, für

Gußeisen . . . . . $b^3 = \frac{P c}{1250000}$

Schmiedeisen . . . . . $b^3 = \frac{P c}{1000000}$

Eichen- und Tannenholz . . . . . $b^3 = \frac{P c}{100000}$

Beispiel.

Ein quadratischer Balken von Holz, der am einen Ende ein-

gemauert ist, trägt in einer Entfernung von $1^m,50$ von diesem Ende 2000^{kil}; wie dick muß er seyn?

Die Formel gibt

$$b^3 = \frac{2000 \times 1,50}{100000} = 0,030 \text{ und}$$

$$b = 0^m,31.$$

Der Querschnitt ist ein Kreis.

307. Ist der Körper ein Cylinder vom Durchmesser **d**, so hat man, für

Gußeisen . . . . . $d^3 = \frac{P\,c}{736312}$.

Schmiedeisen . . . . . $d^3 = \frac{P\,c}{589050}$

Eichenholz . . . . . $d^3 = \frac{P\,c}{58905}$

Formel für die Zapfen der Wasserräder.

308. Für die Zapfen der Wasserräder, welche keine merkliche Biegung erleiden dürfen, welche naß werden, und sich durch den feinen Sand, den das Wasser mit sich führt, abnützen, nimmt man, bei Gußeisen

$$d^3 = \frac{P\,c}{368156}.$$

Gewöhnlich macht man noch $c = d$, wo dann

$$d^2 = \frac{P}{368156} \text{ ist.}$$

Erstes Beispiel.

Das Rad in Gebweiler (Nr. 128) wiegt 25000 Kilogramm, es kann $5^{mc},500$ Wasser halten: die Belastung beider Zapfen ist daher gleich 30500 Kilogramm, und jeder trägt 15250 Kilogramm. Die Länge des Zapfens ist seinem Durchmesser gleich.

Die Formel gibt $d = 0^m,204$, der englische Erbauer nahm $d = 0^m,236$; das Rad geht seit 10 bis 12 Jahren.

Zweites Beispiel.

Das Rad in der Spinnerei von Logelbach bei Colmar wiegt 44000 Kilogramm, jeder Zapfen trägt also 22000 Kilogramm. Man hat $c = d$.

Die Formel gibt

$$d = 0^m,244$$

und das Rad, das seit 15 Jahren geht, hat

$$d = 0^m,216.$$

Zapfen von Wellen, die Stöße erleiden.

309. Dieselbe Formel gibt auch die Stärke der Zapfen für Wellen, die Stößen ausgesetzt sind, wie die der Hämmer, Stampfwerke, Pochen ꝛc.

Gut geschmierte Zapfen.

310. Für die Wellen zur Fortpflanzung der Bewegung, deren Zapfen gut geschmiert sind, und sich weniger abnützen, als die der Wasserräder, hat man

bei Gußeisen . . . . . $d^2 = \frac{P\,c}{736312}$

„ Schmiedeisen . . . . . $d^2 = \frac{P\,c}{589050}$

Axen der Fuhrwerke.

311. Die Nothwendigkeit, bei Fuhrwerken die durch die Axenreibung verlorne Arbeit so viel wie möglich zu vermindern, hat dazu geführt, für diese Zapfen folgende Formel anzunehmen, die weit geringere Dimensionen gibt.

Axen von Schmiedeisen . . . . . $d^3 = \frac{P\,c}{700000}$

Man wird hierbei beobachten, daß man zu diesen Axen das beste Eisen nimmt.

Folgende Tafel enthält die Dimensionen, welche die besten Wagenbauer in England anwenden, und zeigt, daß unsere Formel diese so genau als möglich wiedergibt.

Art des Fuhrwerks.	Zahl der Räder.	Belastung jedes Zapfens.	Länge der Zapfen.	Durchmesser. am dicken Ende.	Durchmesser. am dünnen Ende.	Durchmesser. mittlerer.	Berechnet nach der Formel.
		kil	m	centim.	centim.	centim.	centim.
Tilbury	2	104.5	0.30	3.8	3.2	3.50	3.6
Cabriolet . . .	2	296.0	0.23	4.1	3.5	3.80	4.6
Trotschke . . .	4	235.0	0.20	4.1	3.5	3.80	4.1
Char-à-banc . .	4	248.0	0.23	4.5	3.8	4.20	4.5
Landauer . . .	4	400.0	0.23	5.1	3.8	4.50	5.3
Eilwagen . . .	4	382.0	0.28	5 7	4.1	4.90	5.6
Karren	2	609.0	0.29	6.4	3.4	4.90	6.3
Wagen	4	1015.0	0.33	7.6	6.4	7.00	7.8
Güterwagen . .	4	1420.0	0.33	8.6	6.9	7.75	8.4

Die ganze Belastung der Eilwagen der allgemeinen Messagerien von Frankreich übersteigt selten 5000^{kil}. Sie besteht in dem Gewichte des Wagens ($= 2000^{kil}$ ohne die Räder) und 18 Reisenden, die durchschnittlich 1200^{kil} wiegen. Gepäck bildet das Complement mit ungefähr 1800^{kil}. Die beiden ersten Theile sind ungefähr gleich vertheilt auf alle 4 Axen. Die hintern Axen tragen etwa $^3/_4$ des Gepäcks. Man hat also für jede

der Vorderaxen . . . $P = 1475^{kil}$

der Hinteraxen . . . . $P = 1025$.

Die Länge aller Axen ist $c = 0^m,277$.

Die obenstehende Formel gibt für die Hinteraxe

$$d = \sqrt[3]{\frac{1475 \times 0,277}{700000}} = 0^m,0836,$$

und für die Vorderaxen

$$d = \sqrt[3]{\frac{1025 \times 0,277}{700000}} = 0^m,0740.$$

In den Werkstätten, in denen diese Wagen construirt werden, gibt man den mit aller Sorgfalt gearbeiteten Axen die Durchmesser $0^m,068$ und $0^m,063$, also noch kleinere als unsere Formel angibt.

Von den Körpern gleichen Widerstands, die an einem Ende befestigt sind.

312. Um das Gewicht der Träger zu vermindern, kann man diesen in der Richtung ihrer Länge eine parabolische Form geben, wodurch sie in allen ihren Punkten dieselbe Festigkeit erhalten.

Das Längenprofil ist dann gewöhnlich eine halbe Parabel, deren Axe oben oder unten liegt, oder eine ganze Parabel.

Die Höhe und Breite des Körpers am befestigten Ende bestimmt sich noch durch die Formeln in Nr. 302 und weiter, und dann bestimmt man das Profil des Körpers oder die Parabel nach der Gleichung

$$y^2 = \frac{b^2}{c} x,$$

wo

x die Abscissen der Parabel, vom Punkt der Belastung gerechnet, vorstellt, und

y die vertikalen Ordinaten.

Fig. 48.

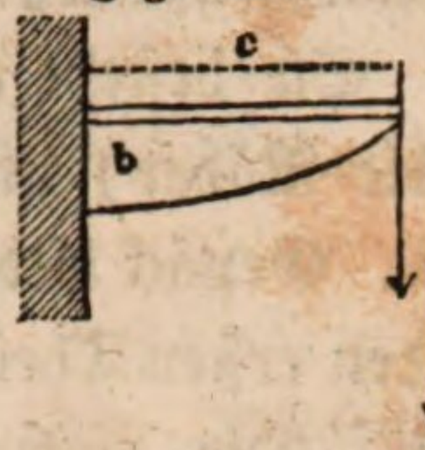
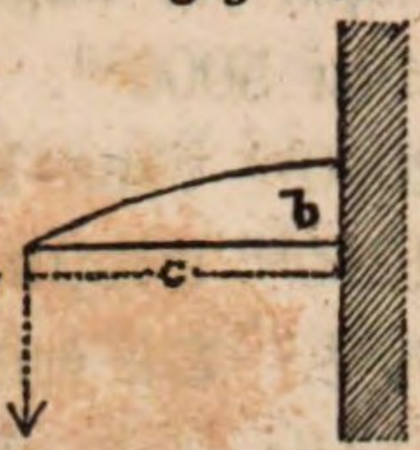
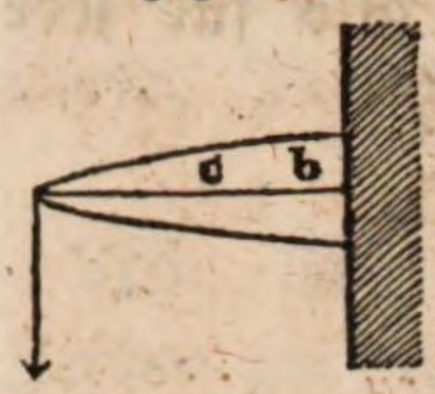


Fig. 49.



Erhält der Körper die Form einer halben Parabel, so werden die Ordinaten y von der Axe der Parabel bis zur Kurve gemessen (Fig. 48 und Fig. 49).

Fig. 50.



Soll die Form eine ganze Parabel seyn, so mißt man die Ordinaten von einem Schenkel der Linie zum andern (Fig. 50).

Man wendet diese Form hauptsächlich bei Tragsteinen an, die an ihrem Ende belastet sind oder Transmissionswellen unterstützen ꝛc.

Am einen Ende befestigte Körper mit Rippen.

313. Hat der am einen Ende befestigte Körper das Profil der

Fig. 51.

(Fig. 51) und es ist dabei

$a' = b = \frac{1}{5} a$ und $b' = a$, so hat man für Gußeisen

$$a^3 = \frac{P c}{420000}.$$

Nimmt man aber

$a' = b = \frac{1}{5} a$ und $b' = \frac{1}{2} a$, so wird wieder für Gußeisen

$$a^3 = \frac{P c}{247500}.$$

Beispiel.

Welche Dimensionen erhält eine solche Stütze von Gußeisen, welche in der Entfernung $0^m,80$ von ihrem Befestigungspunkte 600^{kil} tragen soll, und für die man

$a' = b = \frac{1}{5} a$ und $b' = a$ wählt.

Man erhält

$$a^3 = \frac{600 \times 0,80}{420000} = 0,00114 \text{ und damit}$$

$$a = b' = 0^m,105, \quad b = a' = 0^m,0210.$$

Form der Träger.

314. Dieses Profil eignet sich besonders für Console, Träger ꝛc. und kann häufig mit dem parabolischen Längenprofil (Nr. 312) combinirt werden.

Man berechnet dann die Dimensionen am befestigten Ende, läßt der obern Platte dieselbe Dicke und Breite in der ganzen

Länge und gibt der Rippe nach der Länge die Form einer Parabel, nach der Formel

$$y^2 = \frac{b'^2}{c} x,$$

wie in Nr. 312.

Beispiel.

Welche Dimensionen, und welches Längenprofil soll hiernach ein Träger von Gußeisen erhalten, der in der Entfernung 1^m von dem eingemauerten Theil 800 Kilogramm tragen soll?

Ist $a' = b = 1/3\ a$ und $b' = a$, so erhält man nach Nr. 313

$$a^3 = \frac{800 \times 1}{420000} = 0{,}0019$$

und

$$a = b' = 0^m{,}1239,\quad a' = b = 0^m{,}0248.$$

Dann gibt die Gleichung dieser Nummer

$$y^2 = \frac{(0{,}1239)^2}{1} x = 0{,}0153\ x$$

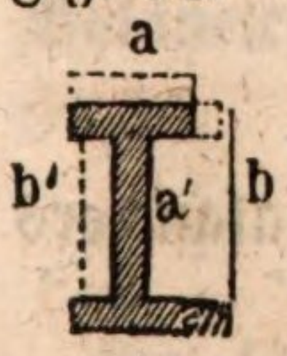
für die krumme Linie, welche die Rippe der Länge nach begrenzt. Man erhält

Werthe von x	^{m} 0,05	^{m} 0,10	^{m} 0,20	^{m} 0,30	^{m} 0,40	^{m} 0,60	^{m} 0,80	^{m} 1,00
Werthe von y	0,0277	0,0391	0,0553	0,0678	0,0784	0,0958	0,1106	0,1237

Anderes Profil.

315. Hat der Träger das Profil Fig. 52, so hat man

Fig. 52.



$$\frac{P\,c}{1250000} = \frac{a\,b^3 - 2\,a'\,b'^3}{b}.$$

Nimmt man z. B. $a' = 1/3\ a$; $b' = 2\,a$ und $b = 2{,}5\,a$, so wird die Formel

$$b^3 = \frac{P\,c}{329350}.$$

Beispiel.

Welchen Druck kann der Balancier der Dampfmaschine von 100 Pferdekräften, die in den Schmieden von Decazeville arbeitet, mit Sicherheit ertragen?

Der Erbauer hat

$a = 0^m,24$; $b = 1^m,25$; $a' = 0^m,0875$; $b' = 1^m,134$ und $c = 4^m,40$ genommen.

Damit findet man

$$P = \frac{0,24 \times (1,25)^3 - 2 \times 0,0875 \times (1,134)^3}{1,25 \times 4,40} \times 1250000 = 48662^{kil}.$$

Der Durchmesser des Cylinders beträgt $0^m,850$, der Druck in dem Kessel ist höchstens 4 Atmosphären über den äußern Druck, also der Druck auf den Kolben

$$4 \times 10333 \times 0,785 \times (0,85)^2 = 23434^{kil},$$ was ungefähr die Hälfte der obigen Zahl ist. (Siehe die folgende Nummer.)

316. Dieses Profil gibt man den Balanciers der Dampfmaschinen, der Gebläse ꝛc. Da diese gegen die Enden verjüngt sind, also der Biegung mehr ausgesetzt sind, und diese möglichst vermieden werden soll, so nimmt man für den Divisor der vorhergehenden Nummer nur die Hälfte. Man nimmt dann die ganze Höhe in der Mitte gewöhnlich der 12fachen Dicke des Balanciers gleich. Die Rippen oben und unten erhalten eine Breite gleich der 3fachen Dicke des Balanciers und eine Dicke, welche dieser Dicke gleich ist.

Damit ist

$$a = {}^1/_4\, b;\quad a' = {}^1/_{12}\, b,\quad b' = {}^5/_6\, b$$

und die obige Formel gibt für diese Balanciers

bei Holz . . . . . $b^3 = \frac{P\,c}{96000}$,

bei Gußeisen . . . . . $b^3 = \frac{P\,c}{7680}$.

317. Andere Verhältnisse, die man ebenfalls bei Balanciers anwendet, sind

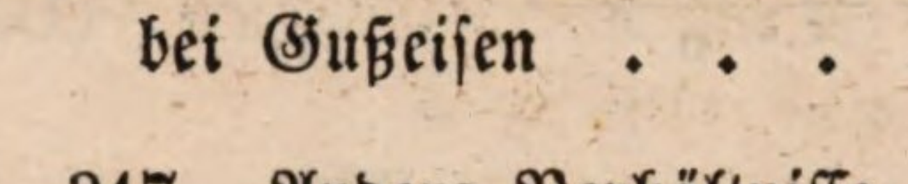
$$a = {}^1/_8\, b,\quad a' = {}^1/_{32}\, b,\quad b' = {}^7/_8\, b.$$

Damit wird für Gußeisen

$$b^3 = \frac{P\,c}{52000}.$$

318. Das Längenprofil dieser Balanciers sollte nun nach Nr. 312 parabolisch seyn; allein gewöhnlich nimmt man die Höhe an den Händen gleich $^1/_3$ der Höhe

Fig. 53.



in der Mitte, und läßt durch die so bestimmten Punkte Kreisbögen gehen, welche die obere und untere Begrenzung des Wagbalkens geben.

Um endlich die Schwächung, welche das Durchbohren der Löcher für die Zapfen des Parallelogrammes und der verschiedenen Stangen hervorbringt, zu compensiren, läßt man nach der Mittellinie des ganzen Balanciers eine Rippe von denselben Dimensionen, wie die oben und unten, hinlaufen.

Diese Regel ist die von Watt und Boulton befolgte.

Beispiel.

Es sollen die Dimensionen des Balanciers für eine Dampfmaschine mit niederm Druck angegeben werden. Der Durchmesser des Cylinders $= 0^m,90$, der Kolbenhub $= 1^m,82$.

Die ganze Länge des Balanciers wird (Nr. 232)

$$3,0825 \times 1^m,82 = 5^m,610 = 2\,c$$

also $$c = 2^m,805.$$

Der Druck, den der Kolben auszuhalten hat, wenn man annimmt, der Dampf habe die Spannung von 1,25 Atmosphären

$$12910 \times 0,785 \times (0,90)^2 = 8220^{kil}.$$

Die Formel gibt damit

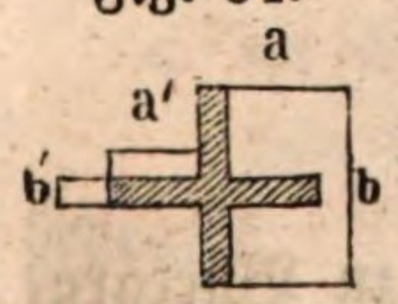
$$b^3 = \frac{8220 \times 2,805}{52000} = 0,4435,$$

$$b = 0^m,765.$$

Dieß Beispiel bezieht sich auf die Dampfmaschine der Spinnerei zu Logelbach, welche von Watt und Boulton construirt ist. Der Balancier hat die hier berechnete Länge und eine Höhe von $0^m,75$.

Zwei Rippen verstärken den Balken.

Fig. 54.



319. Hat das Profil die Form (Fig. 54), so hat man für Gußeisen

$$\frac{P\,c}{1250000} = \frac{a\,b^3 + 2\,a'\,b'^3}{b}.$$

In dem besondern Falle

$$2\,a' + a = b \text{ und } b' = a$$

hat man

$$\frac{P\,c}{1250000} = \frac{a\,b^3 + a^3\,b - a^4}{b},$$

und wenn man noch

$$a = {}^1/_5\, b \text{ setzt,}$$

$$b^3 = \frac{P\,c}{258000}.$$

Nimmt man

$$a = {}^1/_5\, b = b' = a',$$

so erhält man

$$b^3 = \frac{P\,c}{254000}.$$

Die Rippe trägt hier sehr wenig zur Festigkeit bei; sie wird in dieser Form gewöhnlich nur angebracht, um seitliche Biegungen zu verhindern.

Gegossene Arme der Wasserräder.

320. Für die Arme von Gußeisen bei Wasserrädern ist das Fig 55.

nebenstehende Profil sehr passend. Die Kraft des Wassers wirkt in der Richtung der Dicke **b**, und die immer schwachen Rippen haben hauptsächlich den Zweck, eine Biegung der Arme, ein Ausweichen rechtwinklich auf die Richtung des Drucks **P** zu meiden. Man rechnet deßhalb nach der Formel

$$a\,b^2 = \frac{P\,c}{1250000} \text{ oder } a\,b^2 = \frac{N}{1746\,m\,n},$$

wo **N** die Anzahl der Pferdekräfte des Rades,

n die Zahl der Umdrehungen in 1 Minute,

m die Zahl der, meist parallelen Systeme von Radarmen bedeutet. Nimmt man hierin $a = {}^1/_5\, b$, so wird

$$b^3 = \frac{P\,c}{250000} = \frac{N}{350\,m\,n},$$

oder wenn man $a = {}^1/_6\, b$ setzt

$$b^3 = \frac{P\,c}{208000} = \frac{N}{291\,m\,n}.$$

Beispiel.

321. Die Kraft des Rades in der Glashütte zu Baccarat (siehe die oben citirten expériences sur les roues hydrauliques, Seite 127) ist im Maximum 20 Pferdekräfte bei der gewöhnlichen Geschwindigkeit von 5,77 Umläufen in 1 Minute. Es sind 4 Armsysteme vorhanden, und **a** ist $= {}^1/_5\, b$.

Man hat

$$b^3 = \frac{20}{350.4.5{,}75} = 0{,}00248,$$

$$b = 0{,}135.$$

Der Konstrukteur nahm $b = 0^m{,}114$.

Dieses Rad geht schon über 20 Jahre.

Verhältnisse der Rippen für die Arme von Wasserrädern.

322. Ist die Rippe auf beiden Seiten angebracht, so nimmt man $a' = 1{,}5\,a$ und $b' = 0{,}66\,a$.

Ist nur auf einer Seite eine Rippe, was in gewissen Fällen passend ist, wie bei Ponceleträdern oder bei oberschlächtigen Rädern mit Kränzen aus Gußeisen oder Blech, um das Gehen im Gerinne zu erleichtern, so nimmt man

$$b' = 0{,}66\,a \text{ und } a' = 3\,a \text{ oder } 4\,a.$$

Für sehr breite Räder, wo die Schaufeln sich biegen und die Kränze und damit die Radarme sich nähern könnten, ist es zweckmäßig, diese Rippen stärker zu machen.

323. Die Arme der Wasserräder wie die der Zahnräder sind dem Bruche an beiden Enden auf gleiche Weise ausgesetzt. Man läßt deßhalb b und a dieselben Werthe für die ganze Länge des Arms.

Bestimmung des Drucks.

324. Die Größe des Drucks P findet man nach der Formel

$$P = \frac{716\,N}{n\,c},$$

wo N die Zahl der Pferdekräfte,

n die Zahl der Umläufe in 1 Minute und

c die Entfernung des Punktes, von dem der Druck P ist, von der Axe

bedeutet.

Arme der Zahnräder.

325. Für die Arme gußeiserner Zahnräder nimmt man noch immer die Formel $a\,b^2 = \frac{P\,c}{1250000} = \frac{N}{1746\,n}$, und vernach-

läſſigt die Wirkung der Rippe, die ſehr dünn genommen wird, und nur den Zweck hat, eine Seitenbiegung zu verhindern.

Man ſetzt dann $b = 5{,}5\ a$ und hat damit die Formel

$$b^3 = \frac{P\,c}{230000} = \frac{N}{317\,n}.$$

Bringt man auf beiden Seiten Rippen an, ſo ſchließen ſich dieſe auf beiden Seiten an den Ring an und man nimmt

$$b' = 0{,}5\ a.$$

Iſt die Rippe nur auf einer Seite angebracht, wie immer bei coniſchen Rädern, ſo iſt ſie wieder bündig mit dem Rand des Kranzes und man nimmt $b' = 0{,}5\ a$.

Dieſe Rippe wird in allen Fällen gegen die Axe breiter gemacht als am Kranze.

Beiſpiel.

326. Zahnrad der Spinnerei zu Gebweiler. Das Waſſerrad trägt auf die erſte Welle im Maximum die Kraft von 49,4 Pferden mit 16,5 Umläufen in der Minute über. Damit erhält man die Dimenſionen der Radarme für die auf dieſer Welle ſitzenden Zahnräder

$$b^3 = \frac{49{,}4}{317 \times 16{,}5} = 0{,}0094, \text{ alſo}$$

$$b = 0^m{,}211 \text{ und } a = 0^m{,}038.$$

Der engliſche Erbauer nahm $b = 0^m{,}21$ und $a = 0^m{,}047$. Dieſes Rad geht ſeit etwa 14 Jahren.

Zähne des Räderwerks.

327. Wir nennen

a die Breite der Zähne parallel mit der Axe des Rades,
b ihre Dicke auf dem Umfang des Theilriſſes gemeſſen,
s die ganze Höhe des Zahns über dem Kranze.

Alle dieſe Dimenſionen drücken wir in Centimetern aus, und nehmen für auf gewöhnliche Art geſchmierte Räder, wenn die Geſchwindigkeit im Theilriß nicht mehr als $1^m{,}50$ beträgt,

$$a = 4\,b.$$

Wenn die Geſchwindigkeit größer iſt . . . . $a = 5\,b$
Wenn das Räderwerk gewöhnlich naß iſt . . $a = 6\,b$
Die Zähne ſollen nicht weiter als um . . . $s = 1{,}5\,b$
über den Kranz vortreten.

Nach diesen Annahmen hat man nun für die Dicke der Zähne im Theilriß

bei Gußeisen . . . . . $b = 0{,}105\sqrt{P}$

„ Bronze und Messing . . . . . $b = 0{,}131\sqrt{P}$

„ hartem Holz, wie Weißbuchen, Wurzeln vom Birnbaum oder Vogelbeerbaum ꝛc. $b = 0{,}145\sqrt{P}$

Der Raum zwischen den Zähnen wird

für nachgeschnittene, sehr gut ausgeführte Räder $\left(1+\frac{1}{15}\right)b = 1{,}067\,b$

für nicht nachgeschnittene Räder . . $\left(1+\frac{1}{10}\right)b = 1{,}10\,b$.

Kranz und Arme der Zahnräder.

328. Für gußeiserne Zahnräder soll die Dicke des Kranzes $^2/_3$ von der Dicke der Zähne seyn; dann ist es zweckmäßig, ihn durch eine Rippe innen zu verstärken, deren Dicke und Vorsprung der Dicke des Rings gleich sind.

Für Räder mit Zähnen von Holz gibt man dem Ringe, in dem die Zähne befestigt sind, die um die Dicke der Zähne vergrößerte Breite derselben.

Die Dicke dieses Rings in der Richtung des Halbmessers nimmt man der Zahndicke gleich.

Das Zapfenloch hat in der Richtung der Peripherie eine Breite, welche durch die verlängerten Seiten des Zahns bestimmt wird. Sein Längenprofil in der Richtung der Axe ist ein Trapez, dessen Grundlinie am äußern Umfang des Kranzes gleich der Breite des Zahnes ist, und welches sich nach innen um die Zahndicke verengert.

Man gibt gewöhnlich den Rädern

von $1^m{,}30$ und darunter . . . . 4 Arme,

„ $1^m{,}30$ bis $2^m{,}50$ . . . . . 6 „

„ $2^m{,}50$ „ $5^m{,}00$ . . . . . 8 „

„ $5^m{,}00$ „ $7^m{,}00$ . . . . . 10 „

Für sehr leichte und schwache Räder nimmt man gewöhnlich mehr Arme, um dem Kranz beim Abkühlen seine Form zu erhalten.

Allgemeine Bemerkung über die untere Grenze der Dicken.

329. Bei Anwendung der Formel in Nr. 319 bis 328 wird

man bemerken, daß man für Räder, die nur geringe Kräfte fortpflanzen, und welche zugleich ziemlich groß sind, zu Metallstärken geführt wird, welche sicher groß genug wären, um jenen Kräften zu widerstehen, welche sich aber beim Gusse nicht ausführen lassen. Die untern Gränzen, welche man in solchen Fällen annehmen muß, hängen von der Art des Gußeisens ab, und unter sie hinab darf man sich nicht durch Betrachtung der wirksamen Kräfte führen lassen.

Erstes Beispiel.

330. Rad mit gußeisernen Zähnen, am Kranze des Rades der Spinnerei zu Logelbach. Das Rad hat 25 Pferdekräfte bei einer Geschwindigkeit des Umfangs von $1^m,30$ in $1''$; man hat also

$$P = \frac{25 \times 75}{1,30} = \frac{1875}{1,30} = 1443^{kil}.$$

Die Formel in Nr. 327 gibt

$b = 3,997$ Centim. und $a = 6\,b = 23,98$ Centim.,

da die Zähne naß sind.

Der englische Konstrukteur hat

$b = 3,7$ und $a = 26,0$ Centim. gemacht.

Dieses Rad geht seit 15 Jahren.

Zweites Beispiel.

331. Zahnrad in der Glashütte zu Baccarat. Das Rad hat höchstens 20 Pferdekräfte mit der Geschwindigkeit von $1^m,50$ am Umfange; sein Halbmesser ist $2^m,003$, der des Rades mit Zähnen von Holz ist $1^m,815$. Man hat daher

$$P = \frac{20 \times 75}{1,50} \times \frac{2,003}{1,815} = 1103^{kil}.$$

Die Formel gibt

$b = 4,8$ Centim., $a = 4\,b = 19,2$ Centim.

Der englische Erbauer nahm

$b = 4,8$ Centim., $a = 19,5$ Centim.

Nach langem Gebrauch haben sich die Zähne so weit abgenützt, daß jetzt $b = 4,1$ Centim. ist, und noch thun sie ihre Dienste.

Drittes Beispiel.

332. Rad mit hölzernen Zähnen in der Spinnerei zu Gebweiler. Dieses Rad pflanzt 49,4 Pferdekräfte bei einer Geschwindigkeit von $4^m,55$ an der Peripherie fort.

Der Druck im Theilriß ist

$$\frac{49{,}4 \times 75}{4{,}55} = 813^{k}.$$

Die Formel gibt

$b = 4{,}13$ Centim. und $e = 5\,b = 20{,}65$ Centim.

Der Konstrukteur nahm

$b = 3{,}96$ und $a = 20$ Centim.

Dieses Rad geht seit 15 Jahren.

Körper, frei auf zwei Stützen liegend.

333. In den folgenden Formeln bezeichnen wir mit

$2P$ die Belastung oder den Druck auf den Körper, rechtwinklich auf seine Länge,

$2c$ die Entfernung der Stützen,

p, a, b, d behalten dieselben Bedeutungen wie bisher (Nr. 301).

Prismatische Körper.

334. Die Dimensionen des Querschnitts bestimmen sich nach folgenden Formeln,

Gußeisen . . . . . $a\,b^2 = \frac{P\,c}{1250000}$

Schmiedeisen . . . . . $a\,b^2 = \frac{P\,c}{1000000}$

Eichen- oder Tannenholz . . . . $a\,b^2 = \frac{P\,c}{100000}$.

Die Belastung ist gleichförmig vertheilt.

335. Ist die Belastung gleichförmig auf die ganze Länge des Körpers vertheilt, so addirt man sie zum eigenen Gewicht des Körpers, und nennt p was hiervon auf den laufenden Meter kommt; dann hat man für

Gußeisen . . . . . $a\,b^2 = \frac{p\,c^2}{2500000}$

Schmiedeisen . . . . . $a\,b^2 = \frac{p\,c^2}{2000000}$

Eichen- und Tannenholz . . . . $a\,b^2 = \frac{p\,c^2}{200000}$.

Anmerkung. Es gelten hier noch die Bemerkungen in den Nummern 305 und 306 über die einzuführenden Verhältnisse zwischen a und b, und über den Gang, welchen man einschlagen

kann, um das eigene Gewicht des zu bestimmenden Körpers in Rechnung zu ziehen.

Der Querschnitt ist ein Quadrat.

336. Ist der Querschnitt ein Quadrat, so wendet man folgende Formeln an:

Liegt die Last in der Mitte des Stabs

$$b^3 = \frac{P\,c}{k}$$

Liegt die Last um l und l′ von den beiden Stützen entfernt

$$b^3 = \frac{P\,l\,l'}{k\,c}.$$

Ist die Last gleich vertheilt auf 2 Punkte, jeder um l von einer Stütze entfernt,

$$b^3 = \frac{P\,l}{k}.$$

Die Last ist über die Länge 2 c′, deren Mitte von den Stützen um l und l′ entfernt ist, verbreitet,

$$b^3 = \frac{P\left(\frac{l\,l'}{c} - \frac{c'}{2}\right)}{k}.$$

k ist ein Divisor, der bei diesem Querschnitt

für Gußeisen	= 1250000
„ Schmiedeisen	= 1000000
„ Eichen- und Tannenholz . . .	= 100000 ist.

Der Querschnitt ist ein Kreis.

337. Ist der Querschnitt ein Kreis vom Durchmesser b, so setze man in denselben Formeln (Nr. 336) für k bei

Gußeisen	736300
Schmiedeisen	589050
Eichen- und Tannenholz	58905

Wellbäume.

338. Da die Rotationsaxen der Maschinen häufig Stöße erleiden, und nur sehr geringe Biegungen annehmen dürfen, so nimmt man hier folgende Werthe für k bei quadratischem Querschnitt,

für Gußeisen	k = 625000
„ Schmiedeisen	k = 500000
„ Eichen- und Tannenholz . . .	k = 50000

Bei Wellen mit kreisförmigem Querschnitt vom Durchmesser b

für Gußeisen . . . . . $k = 368000$
„ Schmiedeisen . . . . . $k = 295000$
„ Eichen- und Tannenholz . . . $k = 29500$

Erstes Beispiel.

339. Ein quadratischer Wellbaum von Gußeisen soll in seiner Mitte eine Last von 4000 Kilogramm tragen.

Die Länge der Welle ist 3^m, und die Formel gibt

$$b^3 = \frac{2000 \times 1{,}50}{625000} = 0{,}0048 \text{ und } b = 0^m{,}1685.$$

Wäre die Welle cylindrisch, so hätte man

$$d^3 = \frac{2000 \times 1{,}50}{368000} = 0{,}00815 \text{ und } d = 0^m{,}201.$$

Wirkt diese Last in einem Punkte, der 2^m von einen und 1^m vom andern Lager entfernt ist, so erhält man für die cylindrische Welle

$$d^3 = \frac{2000 \times 2 \times 1}{368000 \times 1{,}50} = 0{,}00724 \text{ und } d = 0^m{,}1935.$$

Sollte eine Welle aus Eichenholz angefertigt werden, welche diese Last in der Mitte tragen soll, so erhielte man

$$d^3 = \frac{2000 \times 1{,}50}{29500} = 0{,}1017 \text{ und } d = 0^m{,}469.$$

Ist aber dieselbe Last zu gleichen Theilen in 2 Punkte vertheilt, die je $0^m{,}55$ von den Lagern entfernt sind, so findet man die Stärke der quadratischen gußeisernen Welle

$$b^3 = \frac{2000 \times 0{,}55}{625000} = 0{,}00176 \text{ und } b = 0^m{,}1207,$$

für die cylindrische gußeiserne Welle,

$$d^3 = \frac{2000 \times 0{,}55}{368000} = 0{,}00299 \text{ und } d = 0^m{,}144.$$

Ist die Last in 3 Punkten auf die Länge $1^m{,}20$ vertheilt, dessen Mitte $1^m{,}10$ von dem einen und $1^m{,}90$ von dem andern Lager entfernt ist, so hat man für den quadratischen Balken

$$b^3 = \frac{2000\left(\frac{1{,}10 \times 1{,}90}{1{,}50} - 0{,}30\right)}{625000} = 0{,}0035 \text{ und } b = 0^m{,}152,$$

und für die cylindrische Welle

$$d^2 = \frac{2000\left(\frac{1{,}10 \times 1{,}90}{1{,}50} - 0{,}30\right)}{368000} = 0{,}00594 \text{ und } d = 0^m{,}181.$$

Zweites Beispiel.

Ein achtkantiger Wellbaum soll ein Wasserrad von 15000 Kilogramm Gewicht tragen. Diese Last ist über die Länge $2c' = 4^m{,}5$ verbreitet, deren Mitte von den Lagern um $3^m{,}25$ und $3^m{,}55$ entfernt ist.

Die Formel gibt für Eichenholz

$$b = 0^m{,}835$$

für Gußeisen $b = 0^m{,}360$.

Drittes Beispiel.

Das Wasserrad der Schleiferei zu Baccarat wiegt 13500 Kilogramm, sein Gewicht ist auf die Länge $2c' = 3^m{,}13$ vertheilt, deren Mitte $2^m{,}20$ von jedem Lager entfernt ist. Die Welle ist achtkantig von Gußeisen.

Die Formel gibt

$$d = 0^m{,}296.$$

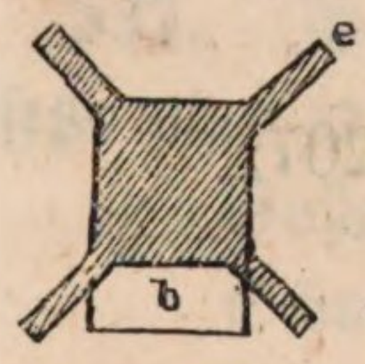
Der Konstrukteur nahm

$$d = 0^m{,}250.$$

Dieses Rad geht seit mehr als 20 Jahren.

Der Querschnitt hat einen quadratischen Kern mit Rippen.

Fig. 56.



340. Der Theil der Welle zwischen den Punkten, in denen die Last ruht, ist gewöhnlich schwächer als diese Theile, aber durch Rippen verstärkt.

Nennt man nun

b die Seite des Quadrats,

b' die ganze Breite der Rippen, gemessen von außen bis wieder nach außen,

e die Stärke der Rippen,

so hat man in den Formeln (Nr. 336)

$$\frac{b^4 + (b'^3 - b^3)\,e + (b' - b)\,e^3}{b'} \text{ für } b^3$$

und für k, da hier nur von Gußeisen die Rede seyn kann, 625000 zu setzen.

Passende Verhältnisse.

341. Zur Bestimmung von b, b′ und e ist es zweckmäßig, ein einfaches Verhältniß zwischen diesen Größen einzuführen; so z. B. setze man

$$b' = 3\,b, \quad e = \frac{1}{3}\,b.$$

Dann erhält man für b^3 die Formeln in Nr. 336, in denen man, für Gußeisen, $k = 2029500$ setzt.

Beispiele.

Ein quadratischer Wellbaum von Gußeisen mit Rippen in den eben angegebenen Verhältnissen, von 4^m Länge soll 10000 Kilogramm tragen.

Liegt die Last in der Mitte, so hat man

$$b^3 = \frac{5000 \times 2}{2029500} = 0{,}00493,$$

und

$$b = 0^m{,}170, \quad e = 0^m{,}057, \quad b' = 0^m{,}510.$$

Liegt die Last $1^m{,}50$ und $2^m{,}50$ vom andern Lager entfernt, so erhält man

$$b^3 = \frac{5000 \times \frac{1{,}50 \times 2{,}50}{2}}{2029500} = 0{,}00462,$$

und $b = 0^m{,}1665$, $e = 0^m{,}0555$, $b' = 0^m{,}4995$.

Ist die Last auf 2 Punkte in gleicher Entfernung $0^m{,}60$ von den Lagern vertheilt, so hat man

$$b^3 = \frac{5000 \times 0{,}60}{2029500} = 0{,}001476;$$

daher $b = 0^m{,}114$, $e = 0^m{,}038$, $b' = 0^m{,}342$.

Ist die Last auf 4 Punkte über die Länge $2\,c' = 2^m{,}80$ vertheilt, deren Mitte von den Lagern um $1^m{,}95$ und $2^m{,}05$ entfernt ist, so hat man

$$b^3 = \frac{5000\left(\frac{1{,}95 \times 2{,}05}{2} - 0{,}70\right)}{2029500} = 0{,}0032,$$

woraus man

$$b = 0^m{,}147, \quad e = 0^m{,}049, \quad b' = 0^m{,}441$$

erhält.

Anmerkung. Gewöhnlich sind gerippte Wellen nur in zwei Punkten belastet.

Gerippte cylindrische Welle.

Fig. 57.

342. Mit den Bezeichnungen der vorhergehenden Nummer hat man in den Formeln der Nr. 336

$$\frac{0{,}589\,b^4 + (b'^3 - b^3)\,e + (b' - b)\,e^3}{b'} \text{ für } b^3$$

und 625000 für k zu setzen.

Passende Verhältnisse.

343. Nimmt man an

$b' = 3\,b$, $e = \frac{1}{3}\,b$, so hat man für b^3 die Formeln in Nr. 336, wo man $k = 1942500$ setzen muß.

Beispiel.

Das Rad in der Spinnerei der Hrn. Schlumberger et Comp. zu Gebweiler wiegt mit dem Wasser, das es aufnehmen kann, 30500 Kilogramm. Sein Gewicht ist zu gleichen Theilen auf zwei Punkte vertheilt, welche $0^m,65$ von den Lagern entfernt sind. Man hat daher

$$P = 15250^k,\ l = 0^m,65 \text{ und damit } b = 0{,}172.$$

Der Erbauer, ein Engländer, nahm $b = 0^m,1336$, die Rippen haben die angegebenen Verhältnisse. Diese Dimension entspricht ungefähr dem Werthe $k = 3885000$; allein mehrere Wellbäume, welche die Dimensionen haben, die man mit diesem Coefficienten erhält, zeigten sich zu biegsam.

Bemerkungen hinsichtlich der Theile der Welle, an denen die Verbindungen geschehen.

344. Bei Anwendung vorstehender Formeln ist zu bemerken, daß der leichtern Verbindung wegen der Theil auf dem die Last

Fig. 58.

ruht, nicht gerippt wird, sondern ein quadratisches, cylindrisches oder polygonales Profil erhält. Die Dimensionen desselben berechnet man nach den Nrn. 338 und 339. Dann schließt man diesen Theil an den Kern und die Rippen durch eine Pyramide oder einen Kegel und durch Abrundungen an.

Beispiel.

Bei dem Rade der Hrn. Schlumberger et Comp. (letztes Beispiel) ist der Theil, an dem die Verbindungen statt finden, cylindrisch. Man erhält für ihn

$$d^3 = \frac{15250 \times 0{,}65}{368000} = 0{,}0269 \text{ und } d = 0^m{,}299.$$

Der Konstrukteur machte $d = 0^m{,}258$ nur, allein dieser Theil der Welle trägt 4 kleine Rippen, welche den Keilen zum Feststellen der Arme als Leiter dienen, und diese verstärken ihn etwas.

Hohle cylindrische Wellen von Gußeisen.

345. Um leichtere Wellen zu erhalten, nimmt man sie hohl gegossen.

Nennt man d den äußern Durchmesser und d' den innern, so hat man in den Formeln Nr. 336

$$\frac{d^4 - d'^4}{d} \text{ für } b^3 \text{ und}$$

$k = 368000$ zu setzen.

Allgemein hierbei angenommene Verhältnisse.

346. Es ist gebräuchlich, den innern Durchmesser gleich $^3/_5$ des äußern zu machen, so daß die Wanddicke $= {}^1/_5$ des äußern Durchmessers wird. Dann hat man für d^3 die Formeln Nr. 336, wo $k = 320500$ gesetzt werden muß.

Beispiel.

Eine Hammerradwelle in der Waffenfabrik zu Chatellerault trägt in einer Länge von $2c' = 2^m$, das Gewicht des Rades $= 2P = 21017^k$; die Mitte des belasteten Theils ist $1^m{,}55$ und $2^m{,}06$ von den Lagern entfernt, es ist also $2c = 3^m{,}61$.

Die Formel gibt

$$d^3 = \frac{10508\left(\frac{1{,}55 \times 2{,}06}{1{,}805} - 0{,}50\right)}{320500} = 0{,}0416,$$

und $d = 0^m{,}346$ und die Eisenstärke $= 0^m{,}068$.

Körper, die an beiden Enden befestigt sind.

347. Ist ein Körper an beiden Enden unbeweglich befestigt, so ist seine Festigkeit zweimal so groß, als wenn er frei aufliegen

würde, und man wendet daher für alle in Nr. 333 bis 346 angegebenen Formen dieselben Formeln an, setzt aber für **P** statt der halben Last nur den vierten Theil derselben. Dabei muß man sich aber wohl überzeugen, daß auch in der That die Enden unbeweglich sind.

Körper, die der Drehung ausgesetzt sind.

348. Wellen, welche die Bewegung fortpflanzen, sind zuweilen dem Bruch durch Drehung ausgesetzt.

Man berechnet die Dimensionen, welche sie erhalten müssen, um der Drehung anhaltend zu widerstehen nach folgenden Formeln, die unter der Voraussetzung berechnet sind, daß eine Welle vom Durchmesser **d** in der Entfernung 8 Meter eine Drehung **a** Grade erleiden dürfe, welche $a\,d = 0{,}3 \cdot 0{,}8$ gibt. (Vergl. das Beispiel in Nr. 364).

In diesen Formeln bedeutet

N die Anzahl der Pferdekräfte, welche die Welle fortführt,
n die Anzahl der Umdrehungen dieser Welle in 1 Minute,
b die Seite der quadratischen Welle,
d den Durchmesser der cylindrischen Welle,
d und **d'** den äußern und innern Durchmesser der hohlen Welle.

Form des Querschnitts.	Materie.	Formel.
Quadrat	Eisen	$b^3 = \frac{N}{420\,n}$
	Gußeisen	$b^3 = \frac{N}{260\,n}$
	Holz	$b^3 = \frac{N}{11\,n}$
Kreis	Eisen	$b^3 = \frac{N}{260\,n}$
	Gußeisen	$d^3 = \frac{N}{144\,n}$
	Holz	$d^3 = \frac{N}{6{,}3\,n}$
Ring	Gußeisen	$\frac{d^4 - d'^4}{d} = \frac{N}{144\,n}$ $d^3 = \frac{N}{125\,n}$

Anmerkung. Liegen die Zahnräder auf beiden Seiten eines Zapfens, so muß dieser die Drehung auszuhalten vermögen.

Beispiel.

Welchen Durchmesser muß der Zapfen der Turbine zu Müllbach haben, wenn er die Kraft von 45 Pferden bei 50 Umläufen in der Minute fortpflanzen soll?

Die Formel gibt

$$d^3 = \frac{45}{260 \times 50} = 0{,}00346 \text{ und}$$

$$d = 0^m{,}151.$$

Der Zapfen hat $0^m{,}162$ Durchmesser und die Welle $0^m{,}182$. Bei Versuchen mit der Bremse war die Kraft 91 Pferdekräfte mit 66 Umdrehungen in der Minute; auch diese pflanzte er ohne Beschädigung fort.

Bemerkung über die Wellen zur Fortpflanzung der Bewegung.

349. Soll man die Dimensionen einer langen Welle, die zur Fortpflanzung der Bewegung dient, angeben, so berechnet man sie zuerst nach Nr. 338 und weiter und dann nach der vorstehenden, auf Drehung bezüglichen Nummer, und nimmt als definitive Dimension das größte beider Resultate.

Röhren mit innerem Druck.

350. Die Stärke der Gas- oder Wasserleitungsröhren rechnet man nach folgenden Formeln:

Eisenblech . . .	$e = 0{,}00086\, n\, d + 0{,}0030^m$,
Gußeisen . . .	$e = 0{,}00238\, n\, d + 0{,}0085$,
Kupfer	$e = 0{,}00148\, n\, d + 0{,}0040$,
Blei	$e = 0{,}00242\, n\, d + 0{,}0050$,
Zink	$e = 0{,}00507\, n\, d + 0{,}0040$,
Holz	$e = 0{,}03230\, n\, d + 0{,}0270$,
Steine, natürliche	$e = 0{,}03690\, n\, d + 0{,}0300$,
künstliche	$e = 0{,}05380\, n\, d + 0{,}0400$,

Die Wanddicke der Dampfkessel ist oben (Nr. 231) schon angegeben.

Hierbei bedeutet:
e die Wandstärke der Röhre,
d den innern Durchmesser derselben in Metern,
n die Zahl der Atmosphären Druck, den die Röhren aushalten sollen (den äußern Druck abgezogen).

Festigkeit der Kugeln.

351. Beträgt die Wanddicke nicht mehr als $^1/_5$ des äußeren Radius, so geben folgende Formeln hinreichende Stärken.

Bei Eisenblech . . . . $e = \frac{p\,r}{13300000}$,

„ Gußeisen . . . . $e = \frac{p\,r}{45000000}$,

„ Kupferblech . . . . $e = \frac{p\,r}{8330000}$.

Dabei ist
e die Wanddicke,
r der äußere Radius, beides in Metern, und
p der Ueberschuß des innern Drucks über den äußern in Kilogrammen.

Verhältnisse und Dimensionen der Schrauben.

252. Die Schraubenbolzen, welche man zum Zusammenhalten braucht, sollen folgende Dimensionen erhalten:

Der Kern der Spindel soll höchstens $2^{kil},80$ Spannung auf den Quadratmillimeter erleiden.

Ist
P die Belastung der Schraube,
d der innere Durchmesser in Millimetern,
so hat man

$$d = 0{,}624\sqrt{P}$$

Den äußern Durchmesser macht man gleich $^6/_5$ d, so daß die Tiefe des Gewindes $^1/_{10}$ d beträgt.

Die Höhe des Schraubengangs nimmt man $= ^1/_5$ d.

Wird die Mutter nicht oft aufgeschraubt, so wird ihre Dicke dem äußern Durchmesser der Spindel gleich; sie enthält dann sechs Umgänge.

Muß oft aufgeschraubt werden, so macht man die Mutter $1^1/_3$mal so dick, als der äußere Durchmesser der Spindel groß ist, oder $^8/_5$ d.

So weit der Bolzen keine Gänge hat, nimmt man den Durchmesser einige Millimeter größer, als den äußern Durchmesser des Schraubengangs.

Diese Verhältnisse passen eben so auf dreieckige wie auf viereckige Schrauben.

Formeln zur Berechnung der Biegung gegebener Körper.

Die Kraft ist senkrecht auf die Länge des Körpers gerichtet.

353. Wird das Gewicht des Körpers vernachlässigt, so hat man für einen Balken, der mit dem einen Ende unbeweglich befestigt ist,

bei Gußeisen . . . . . $f = \frac{P c^3}{2750000000\ a\ b^3}$,

„ Schmiedeisen . . . . . $f = \frac{P c^3}{5000000000\ a\ b^3}$,

„ Holz . . . . . $f = \frac{P c^3}{250000000\ a\ b^3}$,

„ Gußstahl . . . . . $f = \frac{P c^3}{8000000000\ a\ b^3}$,

„ deutschem Stahl . . . . $f = \frac{P c^3}{4000000000\ a\ b^3}$.

Dabei ist

P das Gewicht, welches in der Entfernung,

c vom befestigten Ende auf dem Balken lastet,

a die horizontale,

b die vertikale Dimension des Balkens, und

f die hervorgebrachte Senkung des freien Endes.

Bemerkung über die Art, wie man das eigene Gewicht des Balkens oder gleichförmig verbreitete Lasten immer in Rechnung ziehen kann.

354. Eine gleichförmig über einen Balken, dessen eines Ende unbeweglich ist, verbreitete Last bringt dieselbe Biegung hervor,

welche $^3/_8$ dieser Last am freien Ende angehängt, hervorbringen würde. Dasselbe gilt vom Gewichte des Körpers.

Beispiel.

Welche Biegung erleidet ein eichener Balken, der am einen Ende eingemauert ist, von einem Gewichte von 750^{kil}, die das andere Ende trägt, wenn er $0^m,20$ breit und $0^m,30$ hoch und 4^m lang ist?

Das Gewicht des Balkens ist

$$800 \times 0{,}20 \times 0{,}30 \times 4 = 192^{kil},$$

und die Senkung des freien Endes

$$f = \frac{(750 + {}^3/_8 \times 192) \times 64}{250000000 \times 0{,}20 \times 0{,}027} = 0^m,039.$$

355. Ein am einen Ende befestigter Cylinder gibt die Senkung:

bei Gußeisen . . . . . $f = \frac{P c^3}{1617000000\, d^4}$,

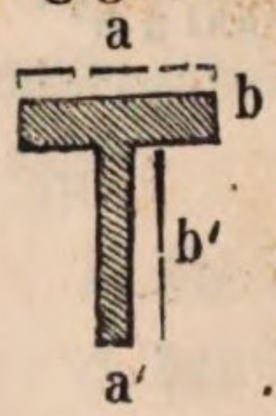
„ Schmiedeisen . . . . . $f = \frac{P c^3}{2940000000\, d^4}$,

„ Holz . . . . . $f = \frac{P c^3}{147000000\, d^4}$.

356. Für einen hohlen Cylinder hat man dieselben Formeln, wenn man nur $d^4 - d'^4$ für d^4 setzt. d' ist dabei der innere Durchmesser.

357. Hat der Balken den Querschnitt (Fig. 59) und ist

Fig. 59.



dabei $a' = b = {}^1/_5\, a$ und $b' = a$, so ist die Biegung bei Gußeisen

$$f = \frac{P c^3}{1910000000\, a^4}.$$

Sind die Verhältnisse

$a' = b = {}^1/_5\, a$ und $b' = {}^1/_2\, a$, so ist

$$f = \frac{P c^3}{396000000\, a^4}.$$

358. Balken von gleichem Widerstande, deren Längenprofil parabolisch ist, senken sich doppelt so weit, als durch die bisherigen Formeln angegeben ist.

Balken, die auf zwei Stützen aufliegen.

359. Hier sey

2 P die Belastung,

2 c die Entfernung beider Stützen.

Liegt die Last in der Mitte, so gelten mit dieser Bezeichnung auch hierfür die Formeln von Nr. 353 an.

360. Ist die Last in einem Punkte angebracht, der von den beiden Stützen um l und l′ entfernt ist, so ergibt sich die Einsenkung des belasteten Punktes durch die Formeln:

bei Gußeisen . . . . . $f = \frac{P\,l^2\,l'^2}{2750000000\,a\,b^3\,c'}$

„ Schmiedeisen . . . . . $f = \frac{P\,l^2\,l'^2}{5000000000\,a\,b^3\,c'}$

„ Holz . . . . . $f = \frac{P\,l^2\,l'^2}{250000000\,a\,b^3\,c}$.

361. Ist die Last gleichförmig verbreitet, so hat man dieselben Formeln, wenn man $^5/_8\,p\,c$ für P setzt, wo p die Belastung des laufenden Meters bedeutet.

Beispiel.

Wie tief senkt sich jeder der sieben Tragbalken einer Brücke auf der ein Menschengedränge ist, wenn die Brückenbahn $18^{mq},06$ groß ist, und die Tragweite der Balken $4^m,30$ und ihre Höhe und Breite $0^m,12$ beträgt?

Bei einem Menschengedränge rechnet man 6 Menschen auf den Quadratmeter, was 390^{kil} Belastung gibt. Jeder Balken trägt also

$$\frac{390 \times 18,06}{7} = 1010^{kil}$$ und es ist also $$p = \frac{1010}{4,3} = 234^{kil},8$$

die Belastung für den laufenden Meter.

Die Formel in Nr. 353 gibt damit die Einsenkung

$$f = \frac{^5/_8 \times 234,8 \times (2,15)^4}{250000000 \times (0,12)^4} = 0^m,0605.$$

362. Balken, die mit beiden Enden unbeweglich eingespannt sind, biegen unter gleicher Belastung nur $^1/_4$ so stark ein, als Balken, die mit beiden Enden frei aufliegen.

Formeln zur Berechnung der Verdrehung der Wellen.

363. Wird eine cylindrische Welle am einen Ende festgehalten und durch eine Kraft gedreht, welche in einer Normalebene auf die Axe liegt, so ist der Drehungswinkel

bei Stahl oder Eisen . . $a = \frac{PRc}{12000000\,d^4} = \frac{Nc}{17000\,n\,d^4}$,

bei Gußeisen . . . . $a = \frac{PRc}{6900000\,d^4} = \frac{Nc}{9600\,n\,d^4}$,

bei Holz . . . . . $a = \frac{PRc}{150000\,d^4} = \frac{Nc}{210\,n\,d^4}$.

Dabei bedeutet

P die drehende Kraft,
R den Hebelsarm dieser Kraft, oder
N die Zahl der Pferdskräfte,
n die Zahl der Umläufe in 1 Minute;
c die Entfernung des befestigten Endes von der Ebene, in der die Drehung gemessen wird,
d den Durchmesser der Welle, alles in Metern, und
a den Drehungswinkel in Graden.

Beispiel.

364. Von Gerstner berechnet in seiner Mechanik, 1. Band, S. 318, daß die Welle der Kehrräder in Schumnitz einer Drehung durch eine Last von 1150^{kil} ausgesetzt sind. Diese Kraft wirkt an dem Halbmesser des Treibkorbes $= 1^m,90$. Der Durchmesser der Welle ist $= 0^m,790$ und die Länge derselben von der Mitte des Wasserrades bis zur Mitte des Treibkorbes $= 8^m,22$. Welche Drehung erleidet diese Welle?

Das Wasserrad und der Treibkorb werden durch die auf beide wirkenden Kräfte einander entgegen gedreht; man kann deßhalb die Sache so betrachten, als werde die Welle an dem Orte des Wasserrades festgehalten, und es wirke nur die drehende Kraft am Treibkorbe. Dann hat man nach unserer Formel

$$a = \frac{1150 \times 1{,}90 + 8{,}22}{150000 \times (0{,}790)^4} = 0{,}31 \text{ Grad.}$$

365. Für quadratische Wellen hat man unter denselben Umständen

bei Eisen und Stahl . . $a = \frac{PRc}{20000000\,b^4} = \frac{Nc}{28000\,n\,b^4}$,

bei Gußeisen . . . . $a = \frac{PRc}{12000000\,b^4} = \frac{Nc}{17000\,n\,b^4}$,

bei Holz . . . . . $a = \frac{PRc}{250000\,b^4} = \frac{Nc}{350\,n\,b^4}$.

Beispiel.

366. Welche Drehung erleidet die geschmiedete quadratische Welle, welche eine Kraft von 20 Pferden mit 300 Umläufen in einer Minute auf eine Entfernung von 4 Meter fortpflanzt? Die Seite des Querschnitts $0^m,06$.

Es ist

$$a = \frac{20 \times 4}{28000 \times 300 \times (0,06)^4} = 0,74 \text{ Grad.}$$

Stabilität der Konstruktionen.

Regeln zur Berechnung des Drucks der Gewölbe und der erforderlichen Dicke ihrer Widerlager.

Halbkreisbogen. Die äußere Wölbung der innern parallel.

367. Der Bruch der halbkreisförmigen Gewölbe geschieht nur durch Drehung um eine Fuge oder durch Gleitung.

Man berechnet die Winkel der Bruchstellen und den größten Horizontalschub in der äußern Wölbung am Schlußsteine nach folgender Tafel *), in der

R den äußern Radius,

r den innern,

$\mathbf{K} = \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{r}}$ das Verhältniß beider, und

C das Verhältniß des Horizontalschubs am Schlußstein zum Quadrate von **r** bedeutet.

Man erhält den Werth des Horizontalschubs für den laufenden Meter der Länge des Gewölbes, wenn man $\mathbf{C}\,\mathbf{r}^2$ mit dem Gewichte eines Kubikmeters des Mauerwerks multiplicirt, wofür man durchschnittlich 2250 Kilogramm nehmen kann.

---

*) Diese Tafel wie die folgenden ist aus einem Memoir des Genie-Capitäns Petit, das in Nr. 12 des Mémorial de l'officier du génie sich findet.

Verhältniss des Werth des Verhältnisses $K = \frac{r}{n}$	Verhältniss des Durchmessers zur Dicke.	Größe des Winkels der Bruchstelle.	Verhältniss C		Verhältniss $\sqrt{2C}$ der Grenze der Dicke der Widerlager zum innern Radius.
			Drehung.	Gleitung.	
2.732	1.154	0°00′	0.00000	0.98923	
2.70	1.176	13 42	0.00211	0.96262	
2.65	1.212	22 00	0.00319	0.92168	
2.60	1.250	27 30	0.00809	0.88151	
2.50	1.333	35 52	0.02283	0.80346	
2.40	1.428	42 6	0.04109	0.72847	
2.30	1.538	46 47	0.06835	0.65654	
2.20	1.666	51 4	0.08648	0.58767	
2.10	1.810	54 27	0.10926	0.52186	
2.00	2.000	57 17	0.13017	0.45912	1.3223
1.90	2.282	59 37	0.14813	0 39943	1.2320
1.80	2.500	61 24	0.16373	0.34281	1.1414
1.70	2.857	62 53	0.17180	0.28924	1.0484
1.60	3.333	63 49	0.17517	0.23874	0.9525
1.59	3.389	63 52	0.17533	0.23386	0.9427
1.58	3.448	63 55	0.17535	0.22901	0.9329
1.57	3.508	63 58	0.17524	0.22434	0.9233
1.56	3.571	64 1	0.17499	0.21940	0.9131
1.55	3.636	64 3	0.17478	0.21464	0.9031
1.54	3.703	64 5	0.17445	0.20991	0.8931
1.53	3.773	64 7	0.17397	0.20521	0.8831
1.52	3.846	64 8	0.17352	0.20054	0.8730
1.51	3.920	64 8	0 17310	0.19590	0.8628
1.50	4.000	64 9	0.17254	0.19130	0.8527
1.49	4.081	64 8	0.17180	0.18673	0.8424
1.48	4.166	64 8	0 17095	0.18218	0.8320
1.47	4.255	64 7	0.17008	0.17766	0.8216
1.46	4.347	64 6	0.16915	0.17318	0.8112
1.45	4.444	64 5	0.16798	0.16872	0.8007
1.44	4.545	64 3	0.16683	0.16430	0 7962
1.43	4.651	64 00	0.16568	0.15991	0.7934
1.42	4.761	63 56	0.16448	0.15555	0.7906
1.41	4.878	63 52	0.16317	0.15122	0.7874
1.40	5.000	63 48	0 16167	0.14691	0.7838
1.39	5.128	63 43	0.16014	0 14264	0.7801
1.38	5.263	63 38	0.15845	0.13841	0.7760
1.37	5.406	63 32	0.15672	0.13420	0.7717
1.36	5.555	63 26	0.15482	0.13002	0.7670
1.35	5.714	63 19	0.15287	0.12587	0.7622
1.34	5.882	63 10	0.15096	0 12176	0.7574
1.33	6.060	63 00	0.14896	0.11767	0 7524
1.32	6.264	62 50	0.14678	0.11362	0.7468

Werth des Verhältnisses $K = \frac{R}{r}$.	Verhältniß des Durchmessers zur Dicke.	Größe des Winkels der Bruchstelle.	Verhältniß C		Verhältniß $\sqrt{2C}$ der Grenze der Dicke der Widerlager zum innern Radius.
			Drehung.	Gleitung.	
1.31	6.451	62°33′	0.14510	0.10959	0.7425
1.30	6.666	62 14	0.14330	0.10559	0.7379
1.29	6.896	62 9	0.14013	0.10163	0.7297
1.28	7.142	62 3	0.13691	0.09770	0.7213
1.27	7.407	61 47	0.13430	0.09379	0.7144
1.26	7.692	61 30	0.13157	0.08992	0.7071
1.25	8.000	61 15	0.12847	0.08608	0.6987
1.24	8.333	61 1	0.12516	0.08227	0.6896
1.23	8.695	60 40	0.12201	0.07849	0.6809
1.22	9.090	60 19	0.11887	0.07474	0.6721
1.21	9.523	60 00	0.11516	0.07102	0.6615
1.20	10.000	59 41	0.11140	0.06733	0.6504
1.19	10.526	59 10	0.10791	0.06368	0.6404
1.18	11.111	58 40	0.10417	0.06005	0.6292
1.17	11.764	58 9	0.10021	0.05646	0.6171
1.16	12.500	57 40	0.09593	0.05289	0.6038
1.15	13.333	57 1	0.09176	0.04935	0.5905
1.14	14.285	56 23	0.08729	0.04585	0.5759
1.13	15.384	55 45	0.08254	0.04237	0.5601
1.12	16.666	54 48	0.07789	0.03984	0.5444
1.11	18.181	54 10	0.07273	0.03552	0.5259
1.10	20.000	53 15	0 06754	0.03213	0.6066
1.09	22.222	52 14	0.06177	0.02879	
1.08	25.000	51 7	0.05649	0.02546	
1.07	28.571	49 48	0.05065	0.02217	
1.06	33.333	48 18	0.04455	0.01891	
1.05	40.000	46 22	0.03813	0.01568	
1.04	50.000	44 4	0.03139	0.01249	
1.03	66.666	41 4	0.02459	0.00932	
1.02	100.000	38 12	0.01691	0.00618	
1.01	200.000	32 36	0.00889	0.00308	
1.00	Infini.	0 00	0.00000	0.00000	

368. Beim Gebrauche dieser Tafel nimmt man aus den beiden Spalten für C immer den größeren der beiden Werthe.

Die in der Tafel angegebene Grenze der Dicke des Widerlagers ist die obere; sie ist berechnet unter der Voraussetzung, daß die Pfeiler unendlich hoch seyen, und gibt also unter allen Umständen gehörige Sicherheit.

369. Die kleinste Dicke, welche man dem Gewölbe im Schei-

tel gibt, soll nie unter $^1/_{17}$ des innern Halbmessers sinken. Die passende Dicke im Scheitel berechnet man nach der Regel von Perronnet, Nr. 381.

Beispiel.

370. Ist der innere Halbmesser eines halbkreisförmigen Gewölbes mit paralleler äußerer Wölbung 5^m, so gibt die Regel von Perronnet die Höhe des Schlußsteins

$$E = \frac{5 \times 5 + 46{,}777}{144} = 0^m{,}498, \text{ also}$$

$$R = 2{,}5 + 0{,}498 = 2^m{,}998 \text{ und}$$

$$K = \frac{R}{r} = 1{,}20.$$

Damit gibt die Tafel

$$C = 0{,}11140.$$

Der Horizontalschub auf den laufenden Meter ist somit

$$0{,}11140 \times (2{,}50)^2 \times 2250 = 1566^{kil}.$$

Die Grenze der Dicke der Widerlager wird damit

$$0{,}6504 \times 2{,}50 = 1^m{,}626.$$

371. Will man den Widerlagern nur die erforderliche Stärke geben, so findet man diese nach der Formel

$$\frac{e}{r} = -0{,}7854 \times (K^2-1)\frac{r}{h} + \sqrt{[0{,}7854[K^2-1)\frac{r}{h}]^2 + 2[1{,}90KC + {}^1/_3(K^3-1) - 0{,}7854(K^2-1)]\frac{r}{h} + 3{,}8C},$$

wo

e die Dicke des Widerlagers, und

h die Höhe,

C, r und K dasselbe bedeutet, was in Nr. 367.

In dem Beispiele Nr. 370 sey die Höhe der Widerlager gleich 3^m; dann ist

$$\frac{r}{h} = \frac{2{,}50}{3} = 0{,}833 \text{ und damit aus der Formel}$$

$$\frac{e}{r} = 0{,}5827 \text{ und}$$

$e = 1^m{,}457$ statt $1^m{,}626$, wie wir in Nr. 370 die Dicke bestimmt haben.

Halbkreisbogen mit Hintermauerung bis 45°.

372. Für diese Gewölbe gilt folgende Tafel.

Verhältniß $K = \frac{R}{r}$.	Verhältniß des Durchmessers zur Dicke.	Winkel der Bruchstelle.	Verhältniß C des Horizontalschubs zum Quadrate von r.		Verhältniß der Grenze der Dicke der Widerlager zum Radius r, Stabilität von Vauban.
			Drehung.	Gleitung.	
2.00	2.000	60°	0.26424	0.74361	1.7264
1.90	2.222	60	0.28416	0.65648	1.6204
1.80	2.500	60	0.29907	0.57383	1.5147
1.70	2.857	60	0.30867	0.49564	1.4081
1.60	3.333	60	0.31245	0.42191	1.2990
1.59	3.389	60	0.31249	0.41478	1.2880
1.58	3.448	60	0.31257	0.40841	1.2781
1.57	3.508	61	0.31264	0.40067	1.2660
1.56	3.571	61	0.31246	0.39367	1.2548
1.55	3.636	61	0.31222	0.38673	1.2437
1.54	3.703	61	0.31191	0.37983	1 2318
1.53	3.773	61	0.31153	0.37297	1.2214
1.52	3.846	61	0.31108	0.36615	1.2102
1.51	3.920	61	0.31056	0.35938	1.1989
1.50	4.000	61	0.30996	0.35266	1.1877
1.49	4.081	61	0.30928	0.34598	1.1764
1.48	4.166	61	0.30855	0.33934	1.1650
1.47	4.255	61	0.30772	0.33275	1.1537
1.46	4.347	60	0.30685	0.32621	1.1422
1.45	4.444	60	0.30587	0.31971	1.1308
1.44	4.545	60	0.30485	0.31325	1.1193
1.43	4.651	60	0.30408	0.30684	1.1078
1.42	4.761	60	0.30296	0.30047	1.1008
1.41	4.878	60	0.30173		1.0986
1.40	5.000	59	0.30001	0.28787	1.0954
1.39	5.128	59	0.29712		1.0914
1.38	5.263	59	0.29706		1.0914
1.37	5.406	59	0.29550		1.0872
1.36	5.555	59	0.29386		1.0841
1.35	5.714	58	0.29285		1.0823
1.34	5.882	58	0.29037		1.0777
1.33	6.060	58	0.28850		1.0742
1.32	6.264	58	0.28654		1.0705
1.31	6.451	57	0.28456		1.0668
1.30	6.666	57	0.28231	0.22756	1.0626
1.29	6.896	57	0.28027		1.0588
1.28	7.142	56	0.27810		1.0547
1.27	7.407	56	0.27578		1.0503
1.26	7.692	55	0.27343		1.0458
1.25	8.000	54	0.27102		1.0412
1.24	8.333	53	0.26850		1.0363

Verhältniß $K = \frac{R}{r}$.	Verhältniß des Durchmessers zur Dicke.	Winkel der Bruchstelle.	Verhältniß C des Horizontalschubs zum Quadrate von r.		Verhältniß der Grenze der Dicke der Widerlager zum Radius r, Stabilität von Vauban.
			Drehung.	Gleitung.	
1.23	8.695	53°	0.26608		1.0316
1.22	9.090	52	0.26377		1.0272
1.21	9.523	51	0.26074		1.0217
1.20	10.000	50	0.25806	0.17171	1.0160
1.19	10.526	50	0.25546		1.0109
1.18	11.111	49	0.25277		1.0045
1.17	11.764	49	0.25010		1.0002
1.16	12.500	48	0.24742		0.9948
1.15	13.333	47	0.24477		0.9894
1.14	14.285	46	0.24218		0.9842
1.13	15.384	44	0.23967		0.9791
1.12	16.666	43	0.23732		0.9743
1.11	18.181	43	0.23502		0.9695
1.10	20.000	42	0.23292	0.12032	0.9652
1.05	40.000	36	0,22902		0.9571

373. Auch hier muß man für **C** immer den größeren der beiden Werthe nehmen.

Die Gewölbdicke berechnet man wieder durch die Regel Nr. 381.

Beispiel.

Ein solches Gewölbe soll die Spannweite 8^m erhalten.

Die Regel in Nr. 381 gibt die Höhe des Schlußsteins

$$\mathbf{E} = \frac{5 \times 8 + 46{,}777}{144} = 0^m{,}6026 \text{ und folglich}$$

$$\mathbf{R} = 4^m{,}6026; \quad \frac{R}{r} = \mathbf{K} = 1{,}15.$$

Die Tafel gibt

$$\mathbf{C} = 0{,}24477,$$

den Horizontalschub $= 0{,}24477 \times 16 \times 2250 = 8811^{kil}$, und die Grenze der Dicke der Wiederlager

$$\frac{e}{r} = 0{,}9894 \text{ und } \mathbf{e} = 0{,}9894 \times 4 = 3^m{,}9576.$$

374. Will man die erforderliche Stärke der Widerlager genauer haben, so rechnet man nach der Formel

$$\frac{e}{r} = -(K^2 - 0{,}7854)\frac{r}{h} + \sqrt{(K^2 - 0{,}7854)^2 \frac{r^2}{h^2} + 2\left[K(2C + \tfrac{1}{3}K^2\sqrt{2} - K) + 0{,}452\right]\frac{r}{h} + 4C}.$$

In dem Beispiele der vorstehenden Nummer sey die Höhe der Widerlager 5^m, dann ist

$$\frac{r}{h} = \frac{4}{5} = 0{,}80, \text{ und damit}$$

$$\frac{e}{r} = 0{,}919; \quad e = 3^m{,}676.$$

Halbkreisbogen mit horizontaler äußerer Begrenzung.

375.

Verhältniß $K = \frac{R}{r}$.	Verhältniß des Durchmessers zur Dicke.	Winkel der Bruchstelle.	Verhältniß C des Horizontalschubs zu r^2.		Verhältniß der Grenze der Dicke der Widerlager zum Radius r.
			Drehung.	Gleitung.	
2.90	2.000	36°	0.05486	0.50358	1.3834
1.90	2.222	39	0.07101	0.43966	1.2925
1.80	2.500	44	0.08508	0.37901	1.2001
1.70	2.857	48	0.10631	0.32164	1.1055
1.60	3.333	52	0.12300	0.26755	1.0082
1.59	3.389	52	0.12453	0.26232	0.9984
1.58	3.448	53	0.12602	0.25712	0.9885
1.57	3.508	53	0.12747	0.25196	0.9784
1.56	3.571	54	0.12837	0.24683	0.9684
1.55	3.636	54	0.13027	0.24173	0.9584
1.54	3.703	55	0.13153	0.23667	0.9483
1.53	3.773	55	0.13289	0.23163	0.9381
1.52	3.846	55	0.13414	0.22644	0.9280
1.51	3.920	55	0.13531	0.22167	0.9177
1.50	4.000	56	0.13648	0.21673	0.9075
1.49	4.081	56	0.13756	0.21183	0.8972
1.48	4.166	56	0.13856	0.20696	0.8868
1.47	4.255	57	0.13952	0.20213	0.8764
1.46	4.347	57	0.14041	0.19733	0.8659
1.45	4.444	57	0.14122	0.19256	0.8554
1.44	4.545	58	0.14195	0.18782	0.8448
1.43	4.651	58	0.14268	0.18312	0.8341
1.42	4.761	58	0.14311	0.17845	0.8234
1.41	4.878	59	0.14376	0.17381	0.8126
1.40	5.000	59	0.14421	0.16920	0.8018

Verhältniß $K=\frac{R}{r}$.	Verhältniß des Durchmessers zur Dicke.	Winkel der Bruchstelle.	Verhältniß C des Horizontalschubs zu r^2.		Verhältniß der Grenze der Dicke der Widerlager zum Radius r.
			Drehung	Gleitung	
1.39	5.128	59°	0.14456	0.16463	0.7909
1.38	5.263	59	0.14481	0.16009	0.7709
1.37	5.406	60	0.14498	0.15558	0.7689
1.36	5.555	60	0.14506	0.15111	0.7577
1.35	5.714	60	0.14504	0.14666	0.7465
1.34	5.882	60	0.14491	0.14225	0.7420
1.33	6.060	61	0.14467		0.7414
1.32	6.264	61	0.14460		0.7412
1.31	6.451	61	0.14390		0.7394
1.30	6.666	61	0.14332	0.12495	0.7379
1.29	6.896	61	0.14264		0.7362
1.28	7.142	62	0.14186		0.7242
1.27	7.407	62	0.14101		0.7320
1.26	7.692	62	0.13988		0.7290
1.25	8.000	62	0.13872	0.10405	0.7260
1.24	8.333	62	0.13737		0.7225
1.23	8.695	63	0.13593		0.7187
1.22	9.090	63	0.13437		0.7145
1.21	9.523	63	0.13263		0.7099
1.20	10.000	63	0.13073	0.08397	0.7048
1.19	10.526	63	0.12870		0.6993
1.18	11.111	63	0.12650		0.6963
1.17	11.764	64	0.12415		0.6868
1.16	12.500	64	0.12182		0.6803
1.15	13.333	64	0.11895	0.06471	0.6723
1.14	14.285	64	0.11608		0.6641
1.13	15.384	64	0.11303		0.6553
1.12	16.666	64	0.10979		0.6459
1.11	18.181	65	0.10641		0.6358
1.10	20.000	65	0.10279	0.04627	0.6249
1.09	22.222	66	0.198992		0.6133
1.08	25.000	66	0.094967		0.6007
1.07	28.571	67	0.091189		0.5886
1.06	33.333	68	0.086376		0.5729
1.05	40.000	69	0.081755	0.02865	0.5573
1.04	50.000	70	0.076857		
1.03	66.666	71	0.071853		
1.02	100.000	73	0.066469		
1.01	200.000	74	0.061324		
1.00	Infini.	75	0.055472	0.01185	

376. Diese Gewölbe sollen wenigstens $^1/_{46}$ des Durchmessers zur Dicke im Scheitel erhalten. Man berechnet die Dicke nach Nr. 381.

Für die genaue Berechnung der Dicke der Widerlager hat man die Formel

$$\frac{e}{r} = -(K - 0{,}7854)\frac{r}{h + Kr} + \sqrt{(K - 0{,}7854)^2 \frac{r^2}{(h + Kr)^2} - (K - 0{,}904)\frac{r}{h + Kr} + 3{,}8\,C}.$$

Gewölbe mit Kreisbögen. Aeußere Wölbung der innern parallel.

377. Erster Fall. Ist der halbe Centriwinkel a des Kreisbogens größer, als der in der Tafel Nr. 367 angegebene Winkel der Bruchstelle, so ist der Horizontalschub derselbe wie beim Halbkreise und gegeben durch die Tafel Nr. 367.

Die Dicke der Widerlager berechnet man dann nach der Formel

$$\frac{e}{r} = -\,^1/_2\,a\,(K^2 - 1)\frac{r}{h} + \sqrt{^1/_4 a^2 (K^2 - 1)\frac{r^2}{h^2} + 2\left[1{,}90\,C(K - \cos a) + \,^1/_3 (K^3 - 1)(1 - \cos\alpha) - \,^1/_2 (K^2 - 1)\,a \sin a\right]\frac{r}{h} + 3{,}8\,C}.$$

Beispiel.

Welche Dimensionen erhält ein 3^m weit gespanntes Gewölbe, dessen Höhe in der Mitte 1^m beträgt?

Man findet zuerst

$$r = 1^m{,}625.$$

Dann nach Nr. 381 die Dicke des Gewölbs

$$E = \frac{5 \times 3{,}25 + 46{,}777}{144} = 0^m{,}437;$$

damit

$$R = 2^m{,}062, \quad \frac{R}{r} = K = 1{,}26.$$

Es ist

$$a = 63^0 = 1^m{,}10; \quad \sin a = 0{,}8912, \quad \cos a = 0{,}4540.$$

Der Winkel der Bruchstelle ist für diesen Werth von K gleich $61^0 30'$. Die Tafel in Nr. 367 gibt daher C, und zwar

$$C = 0{,}13157.$$

Sind die Widerlager $3^m,25$ hoch, so ist $\frac{r}{h} = 1/2$ und

$$\frac{e}{r} = 0,627, \text{ also}$$

$$e = 0,627 \times 1,625 = 1^m,019.$$

Die Grenze der Dicke der Pfeiler ist

$$e = r\sqrt{3,8\,C},$$

was für dieses Beispiel

$$e = 1^m,149 \text{ gibt.}$$

378. Zweiter Fall. Ist der halbe Centriwinkel a kleiner als der Winkel der Bruchstelle, wie er in der Tafel Nr. 367 angegeben ist, was das gewöhnliche ist, so berechnet man das Verhältniß C des Horizontalschubs zu dem Quadrate des innern Halbmessers r nach folgender Tafel.

Verhältniß der Spannweite zur Pfeilhöhe L : f.	Halber Centriwinkel a.	sin a.	Verhältniß des Radius r zur Pfeilhöhe.
4	53° 7′ 30″	0.8000	2.500
5	43 36 10	0.6897	3.625
6	36 52 10	0.6000	5.000
7	31 53 26	0.5283	6.625
8	28 4 20	0.4706	8.500
10	22 37 10	0.3846	13.000
12	14 15 0	0.2462	32.500

Die Dicke der Widerlager bestimmt man nun nach der Formel Nr. 371.

Verhältniß $\frac{H}{K} = \frac{h}{r}$	Verhältniß des Horizontalschubs zum Quadrate des Halbmessers r.						
	L = 4f.	L = 5f.	L = 6f.	L = 7f.	L = 8f.	L = 10f.	L = 12f.
1.40	0.15445	0.14691	0.14691	0.14691	0.14691	0.14478	
1.35	0.14717	0.13030	0.12587	0.12587	0.12587	0.12405	
1.34	0.14543	0.12987	0.12171	0.12171	0.12171	0.11999	
1.33	0.14364	0.12781	0.11767	0.17167	0.11767	0 11596	
1.32	0.14173	0.12634	0.11362	0.11362	0.11362	0.11196	
1.31	0.13975	0.12486	0.10959	0.10959	0.10959	0.10800	
1.30	0.13764	0.12331	0.10682	0.10559	0.10559	0.10406	
1.29	0.13543	0.12164	0.10563	0.10163	0.10163	0.10016	
1.28	0.13311	0.11988	0.10437	0.09770	0.09770	0.09628	
1.27	0.13068	0.11803	0.10304	0.09379	0.09379	0.09244	
1.26	0.12815	0.11609	0.10160	0.08992	0.08992	0.08862	
1.25	0.12547	0.11402	0.00009	0.08668	0.08608	0.08483	0.07180
1.24	0.12270	0.11251	0.09850	0.08549	0.08227	0.08108	0.06862
1.23	0.12031	0.10958	0.09679	0.08423	0.07849	0.07735	0 06547
1.22	0.11675	0 10725	0.09499	0.08291	0.07474	0.07366	0.06234
1.21	0.11354	0.10460	0.09305	0.08148	0 07102	0.06999	0.05924
1.20	0.11023	0.10196	0.09102	0.07999	0.06981	0.06636	0.05616
1.19	0.10676	0.09915	0.08885	0.07834	0.06859	0 06275	0.05311
1.18	0.10313	0.09617	0.08653	0.07651	0.06727	0.05918	0.05008
1.17	0.09934	0.09303	0.08408	0.07468	0.06583	0.05212	0.04709
1.16	0.09537	0.08975	0.08144	0.07264	0.06420	0.05004	0.04411
1.15	0.09123	0.08634	0.07866	0.07050	0.06259	0.04904	0.04116
1.14	0.08690	0.08257	0.07568	0.06812	0.06077	0.04803	0.03824
1.13	0.08238	0.07869	0.07251	0.06558	0.05890	0.04671	0.03534
1.12	0.07764	0.07459	0.06911	0.06297	0.05659	0.04451	0.03247
1.11	0.07269	0.07042	0.06548	0.06026	0.05421	0.04384	0.02962
1.10	0 06737	0.06563	0.06158	0.05666	0.05160	0.04214	0 02681
1.09	0.06211	0.06077	0.05739	0.05345	0.04871	0.04023	0.02401
1.08	0.05636	0.05652	0.05288	0.04934	0 04552	0.03806	0.02192
1.07	0.05052	0.05011	0.04804	0.04426	0.04200	0.03560	0 02111
1.06	0.04431	0.04428	0.04280	0.04058	0.03861	0.03276	0.02002
1.05	0.03776	0.03804	0.03709	0.03550	0.03357	0.02944	0.01882
1.04	0.03096	0.03144	0.03095	0.02992	0.02862	0.02561	0.01720
1.03	0.02378	0.02437	0.02424	0.02369	0.02293	0.02131	0.01524
1.02	0.01625	0.01681	0.01690	0.01673	0.01640	0.01546	0.01199
1 01	0 00834	0 00871	0.00886	0.00889	0.00885	0.00862	0.00747

Beispiel.

Welche Dimensionen erhält ein gleich dickes Gewölbe, das 8^m, Spannweite hat, und auf $^1/_8$ gedrückt ist? Die Widerlager sind $4^m,25$ hoch.

Man hat $\mathbf{L} = 8^m$; $\mathbf{f} = 1^m$, und damit

$$\mathbf{r} = 8{,}500 \times 1 = 8^m,500;\ \frac{\mathbf{r}}{\mathbf{h}} = 2;\ \mathbf{a} = 28°4'20'' = 0^m,49,$$

$$\mathbf{\cos a} = 0{,}8828;\ \mathbf{\sin a} = 0{,}4706.$$

Die Regel in Nr. 381 gibt für die Dicke des Gewölbs

$$\mathbf{E} = \frac{5 \times 17 + 46{,}777}{144} = 0^m,915,$$

damit

$$\mathbf{R} = 9^m,415;\ \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{r}} = \mathbf{K} = 1{,}107.$$

Die obige Tafel gibt, wenn man das Mittel für $\mathbf{K} = 1{,}10$ und 1,11 nimmt

$$\mathbf{C} = 0{,}05313.$$

Damit erhält man

$$\frac{\mathbf{e}}{\mathbf{r}} = 0{,}3817 \text{ und } \mathbf{e} = 3^m,244.$$

Die Dicke für unendlich hohe Widerlager würde

$$\mathbf{e} = 3^m,810 \text{ seyn.}$$

Gleiten der Kreisgewölbe in der Fuge des Anfangs.

379. Die Reibung in der Fuge am Kämpfer ist für den laufenden Meter gleich

$$0{,}38\ \mathbf{a}\ (\mathbf{K}^2 - 1)\ \mathbf{r}^2 \times 2250 \text{ Kilogramm.}$$

Der Horizontalschub für den laufenden Meter ist

$$\mathbf{C}\ \mathbf{r}^2 \times 2250 \text{ Kilogramm.}$$

Ist dieser größer als die Reibung, so muß man durch eiserne Anker, Schlaudern das Gleiten unmöglich machen. Diese müssen einen Widerstand zu leisten vermögen, der größer als

$$[\mathbf{C} - 0{,}38\ \mathbf{a}\ (\mathbf{K}^2 - 1)]\ \mathbf{r}^2 \times 2250 \text{ Kilogramm ist.}$$

Ist $\mathbf{L} = 4\ \mathbf{f}$, so beginnt das Gleiten, wenn K unter 1,06 sinkt.

Für $\mathbf{L} = 5\ \mathbf{f}$, $6\ \mathbf{f}$, $7\ \mathbf{f}$, $8\ \mathbf{f}$ und $10\ \mathbf{f}$ ist diese Grenze $\mathbf{K} = 1{,}15$.

Für $\mathbf{L} = 16\ \mathbf{f}$ und noch gedrücktere Gewölbe findet ein Gleiten bei jeder Dicke statt.

Beispiel.

Bei einem Gewölbe sey $L = 8^m$ und $f = 0^m,50$. Dann ist

$$r = 32,5\,f = 16^m,25\,,\quad a = 0^m,25.$$

Die Regel in Nr. 381 gibt

$$E = 1^m,454$$

und folglich

$$R = 17^m,704;\quad \frac{R}{r} = K = 1,09.$$

Die Tafel gibt

$$C = 0,02401.$$

Man findet den Ueberschuß des Schubs über die Reibung

$$= 3654^{kil} \text{ für den laufenden Meter.}$$

380. Bei Gewölben mit Korbbögen berechnet man die Dicke der Widerlager wie bei einem Kreisbogengewölbe von derselben Spannweite und demselben Pfeil.

Dicke des Gewölbs im Scheitel.

381. Perronuet gibt hierfür die praktische Regel

$$E = \frac{5\,D + 46,777}{144}\,,$$

wobei

E die gesuchte Dicke in Metern und
D der Durchmesser des innern Kreisbogens ist.

Diese Regel gilt auch für die Korbbögen, wenn man nur für D den Durchmesser des obersten Bogens nimmt. Ueber 30^m Spannweite gibt sie aber zu bedeutende Dicken.

Stärke der Stützmauern.

382. Nennt man

x die Dicke einer Stützmauer an der Grundfläche,
H die Höhe der Bekleidung über dieser Grundfläche,
h die ganze Höhe der drückenden Erde über der Stützmauer,
α das Complement des Winkels der natürlichen Böschung und des Horizontes,
p das Gewicht eines Kubikmeters Erde,
p' das Gewicht eines Kubikmeters Mauer;

so kann man die Dicke x nach der Formel

$$x = 0,865\,(H + h)\,\text{tang}\,{}^1/_2\,\alpha \sqrt{\frac{p}{p'}}$$ berechnen,

welche für die gewöhnlichen Fälle sich auf

$$x = 0{,}285\ (H + h)$$

reducirt.

Diese Formeln sind anwendbar von $h = 0$ bis $h = 2H$.

383. Die folgende Tafel gibt die Werthe von $\frac{x}{H}$ oder die Dicke der Stützmauern mit vertikalen Wänden für verschiedene Erden und Mauern, auch noch für Höhen, die die obigen Grenzen überschreiten. Sie ist wie obige Formel in der Hypothese der Drehung und der Annahme einer Stabilität berechnet, wie sie an den von Vauban als Modell aufgestellten Stützmauern vorhanden ist, von Poncelet berechnet.

Werthe von $\frac{h}{H}$	Werthe von $\frac{x}{H}$.											
	$\frac{p'}{p}=1, f=0{,}6$. Der Vorsprung ist		$\frac{p'}{p}=1, f=1{,}4$. Der Vorsprung ist		$\frac{p'}{p}=1.5, f=1$. Der Vorsprung ist			$\frac{p'}{p}=\frac{5}{3}, f=0.6$. Der Vorsprung ist		$\frac{p'}{p}=\frac{5}{3} f=1.4$. Der Vorsprung ist	
	Null.	$=0.2H$	Null.	$=0.2H$	Null.	$=0.2H$	vollst.	Null.	$=0.2H$	Null.	$=0.2H$
0.0	0 452	0 452	0.258	0 258	0 270	0 270	0.270	0.350	0.350	0.198	0.198
0.1	0.498	0.507	0.282	0.290	0.303	0.306	0.303	0.393	0.398	0 222	0 229
0.2	0.548	0.563	0 309	0.326	0 363	0.342	0.326	0 439	0.445	0.249	0 262
0.3	0.604	0.618	0.338	0.361	0 368	0.375	0.343	0 485	0.489	0 274	0.283
0.4	0.665	0.670	0.369	0.394	0.399	0.405	0.357	0.532	0 522	0 303	0 299
0.5	0.726	0.717	0 402	0.423	0.436	0.431	0.368	0 579	0.549	0.332	0.314
0.6	0.778	0.754	0.436	0.450	0.477	0.457	0.377	0.617	0.572	0 360	0.328
0.7	0 824	0.790	0.472	0.476	0.512	0.481	0.385	0.645	0.593	0.387	0.343
0.8	0.847	0.820	0.510	0.501	0.544	0 504	0.391	0.668	0.610	0.413	0.357
0.9	0.903	0.848	0 541	0.524	0.575	0.523	0.398	0.690	0.624	0.437	0.371
1.0	0.930	0 873	0.571	0.546	0.605	0.540	0.405	0.707	0.636	0.457	0.384
1.2	0.983	0.916	0.632	0.586	0.654	0.574	0.411	0.737	0.655	0.498	0.410
1.4	1.023	0.945	0.684	0 624	0.696	0.602	0.416	0.762	0.672	0.537	0.428
1.6	1.056	0.970	0.730	0.658	0.734	0.622	0.420	0.780	0.685	0.566	0.445
1.8	1.084	0.990	0.772	0.690	0.769	0.640	0.423	0.797	0.697	0.594	0.461
2.0	1.107	1.004	0.812	0.714	0.795	0.655	0.425	0.811	0.705	0.622	0.475
2.5	1.151	1.037	0.902	0.778	0 848	0.690	0.431	0.833	0.722	0.680	0.506
3.0	1.180	1.060	0 981	0.835	0 892	0.717	0.435	0.852	0.731	0.726	0.531
3.5	1.203	1.074	1 047	0.883	0.928	0.738	0.438	0.862	0.737	0.765	0.551
4 0	1.222	1.084	1.105	0 926	0.957	0.755	0.442	0.872	0 742	0.800	0.568
4.5	1.237	1.093	1.158	0 962	0.981	0 768	0.444	0.878	0.747	0.833	0.583
5 0	1 247	1.101	1.206	0.994	1.002	0 779	0.445	0.883	0.751	0.862	0.596
5.5	1.254	1.109	1.250	1.021	1.019	0.788	0.447	0.886	0.756	0.885	0.607
6.0	1.259	1.116	1.290	1.047	1.034	0 796	0.448	0.891	0 759	0.903	0.617
7.0	1.269	1 122	1.357	1.087	1.059	0.811	0 449	0.898	0 764	0.941	0.633
8.0	1 276	1.128	1.415	1.121	1.079	0 822	0.451	0.903	0.768	0.968	0.646
9.0	1 280	1 133	1.465	1.153	1.095	0 830	0 452	0.906	0 770	0.992	0 657
10.0	1.283	1.137	1 508	1.182	1.109	0.839	0 452	0.909	0.771	1.013	0.667
15.0	1.298	1.150	1.662	1.271	1.149	0.864	0 455	0.917	0.777	1.088	0.696
20.0	1.309	1.156	1.757	1.327	1.171	0 878	0.456	0.922	0.780	1.129	0.712
25.0	1.312	1.160	1.821	1.363	1.185	0.887	0.457	0.924	0.782	1.146	0.723
30.0	1.316	1 162	1 866	1.389	1.194	0.894	0.458	0.926	0.783	1.174	0.730
Infini	1.337	1.175	1.144	1.541	1.243	0.927	0.461	0.934	0.789	1.279	0.769

In dieser Tafel ist f die Tangente des natürlichen Böschungswinkels, also $=$ cotg α. Die Werthe $f = 0{,}6$ und $f = 1{,}4$ entsprechen sehr leichter und sehr schwerer Erde.

384. Um sich dieser Tafel zu bedienen, bestimme man durch Versuche den natürlichen Böschungswinkel, das Gewicht p eines Kubikmeters Erde und p' das Gewicht eines Kubikmeters Mauerwerk und suche dann $\frac{x}{H}$ aus der Tafel zu den Werthen $\frac{p'}{p}$, f und $\frac{h}{H}$.

Soll z. B. eine Mauer von 5^m Höhe Erde 3^m höher als die Mauer zusammenhalten, von welcher der Kubikmeter 1350^{kil} wiegt, während 1^{mc} Mauer 2250^{kil} wiegt, wenn $f = 0{,}6$ ist; so hat man

$$\frac{p'}{p} = \frac{2250}{1350} = \frac{5}{3} \text{ und } \frac{h}{H} = \frac{3}{5} = 0{,}6.$$

Dafür gibt die Tafel

$$\frac{x}{H} = 0{,}617, \text{ also } x = 0{,}617 \times 5 = 3^m{,}085$$

für die Dicke der Mauer. Denselben Werth gibt die Formel in Nr. 382.

385. Der Werth $\frac{h}{H} = 0$ findet bei Terrassen statt, bei denen die Stützmauer bis zur horizontalen Begrenzung der Erde fortgeführt ist.

Für eine Terrasse von 6^m Höhe bei $\frac{p'}{p} = \frac{2250}{1500}$ und $f = 1$ wird die Dicke der Mauer

$$x = 0{,}270 \times 6 = 1^m{,}620.$$

386. Gewöhnlich haben diese Mauern eine schiefe Vorderwand. Beträgt die Neigung der Vorderwand gegen die Verticale $^1/_6$ oder $^1/_5$, so kann man die nach der Tabelle gefundene Dicke der Wand in $^1/_9$ der Höhe der Mauer, von unten gemessen, anwenden.

Diese Regel ist auf $^1/_{120}$ für die erste und auf $^1/_{71}$ für die zweite Neigung richtig.

387. Drückt Wasser auf die Mauer, so ist die erforderliche Dicke derselben

$$x = 0{,}865\,(H - h)\sqrt{\frac{1000}{p'}},$$

wo wie oben

x die Dicke der Mauer,

H ihre Höhe,

p' das Gewicht eines Kubikmeters derselben, und

h die Tiefe des Wasserspiegels unter dem Ende der Mauer bedeutet.

388. Bei Trockenmauern nimmt man ungefähr $^5/_4$ der obigen Dicken.

Welche Dicke muß eine Trockenmauer von 2^m Höhe erhalten, welche leichtes Erdreich in gleicher Höhe halten soll?

Nimmt man an, es sei das Gewicht der Erde und des Mauerwerks gleich groß und $f = 0{,}6$, so hat man für eine Mauer mit Mörtel

$$x = 0{,}930 \times 2 = 1^m{,}860$$

und für die Trockenmauer die Dicke

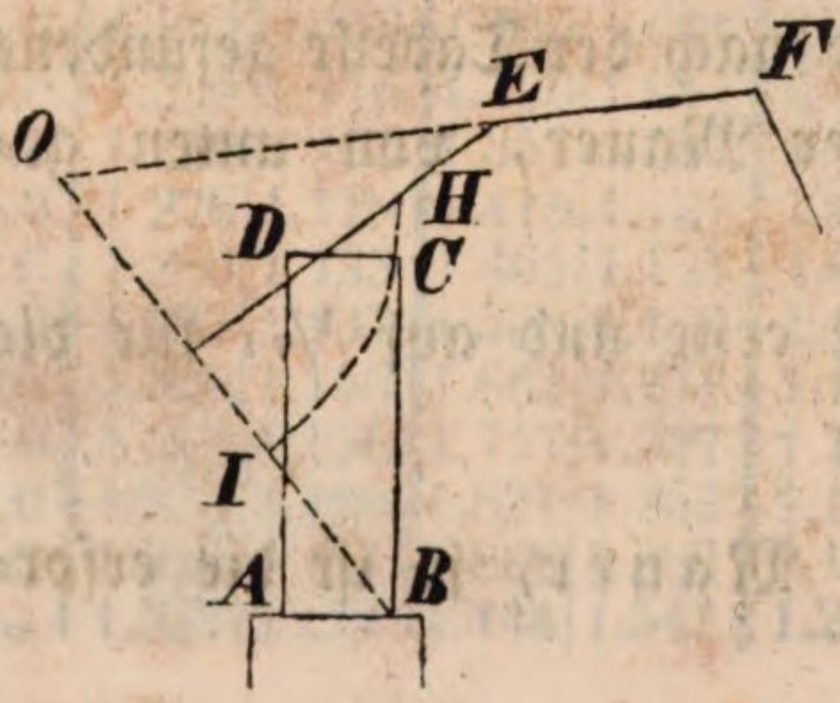
$$x = {}^5/_4 \times 1{,}860 = 2^m{,}325.$$

Tiefe, in welcher man die Stützmauern gründen muß, um ein Gleiten auf dem Boden zu vermeiden.

389. Ist der Boden, auf den die Stützmauer zu stehen kommt, lettig, so kann die Reibung so klein werden, daß die Mauer dem Gleiten ausgesetzt ist. Dann muß man mit der Gründung so tief gehen, daß die vor der Mauer liegende Erde mit der Reibung dem Schub der Erde hinter der Mauer Gleichgewicht hält.

Den Horizontalschub der Erde hinter der Stützmauer kann man auf folgende Art bestimmen.

Fig. 61.



Man verlängere die Oberfläche EF (Fig. 61) des Erdreichs;

ziehe von B eine rechtwinkliche auf den natürlichen Abhang DE der Erde, und verlängere diese bis sie die verlängerte EF in O trifft;

man verlängere **BC** bis **H**, wo sie den natürlichen Abhang **DE** der Erde trifft;

dann beschreibe man von **O** als Mittelpunkt mit der Oeffnung **OH** einen Kreisbogen **HI**,

und nun ist der Horizontalschub gleich

$$P = \tfrac{1}{2}\, p\, (BI)^2,$$

wo **p** noch immer das Gewicht von 1^{mc} Erde ist.

Dieser Schub wirkt horizontal, vertikal auf die innere Seite der Wand, und mit einem Hebelsarm der im Mittel $= 0{,}35\ BH$ ist, von **B** ausgehend.

Nun berechne man die Reibung an der Grundfläche, wobei man den Reibungscoefficienten $f = 0{,}3$ annehmen kann. Dann ist

$$h = 1{,}4\ \text{tang}\ \tfrac{1}{2}\,\alpha \sqrt{\frac{2P'}{p}},$$

wo **h** die Tiefe, in der gegründet werden muß,

P' den Ueberschuß des Horizontalschubs über die Reibung an der Grundfläche,

α das Complement des Winkels der natürlichen Böschung mit dem Horizonte bedeutet.

Beispiel.

Wie tief muß ein Wehr gegründet werden, welches das Wasser in einer Höhe von 4^m halten soll?

Die Formel in Nr. 387 gibt

$$x = 0{,}865 \times 4{,}00 \sqrt{\frac{1000}{p'}} = 2^m{,}44$$

für Mauerwerk, von dem 1 K. Meter 2000^{kil} wiegt.

Das Gewicht der Mauer auf den laufenden Meter wird

$$2000 \times 2{,}44 \times 4 = 19520^{kil}.$$

Die Reibung am Boden beträgt

$$0{,}3 \times 19520 = 5856^{kil}.$$

Der Horizontalschub des Wassers ist

$$P = 1000 \cdot \frac{H^2}{2} = 8000^{kil}.$$

Also überschreitet dieser die Reibung um

$$2144^{kil}.$$

Wiegt 1 K. Meter Erde 1500^{kil}, und ist $\alpha = 60^o$, so hat man für die Tiefe der Gründung

$$h = 1{,}4 \times 0{,}578 \sqrt{\frac{2 \times 2144}{1500}} = 1^m{,}372.$$

Mauerstärken für Wohnhäuser.

390. Rondelet gibt folgende praktische Formeln für Mauern aus Bruchsteinen, Quadern oder Backsteinen.

Es sei

l die Tiefe des Gebäudes für die Frontmauern oder der zu theilende Raum für die Zwischenmauern,

h die Höhe der Mauern,

n die Zahl der Stockwerke,

e die Dicke der Mauern; damit hat man

Frontmauern { Gebäude mit einer . $e = \frac{21 + h}{48} = 0^m{,}025$,
Gebäude mit zwei solchen $e = \frac{l + h}{48}$,

Zwischenmauern . . . . . $e = \frac{l + h}{36} + n \times 0^m{,}013$.

Beispiel.

Wie dick werden hiernach die Mauern eines doppelten Gebäudes von 14^m Tiefe und $13^m{,}9$ Höhe, welche sich vertheilt

auf das Erdgeschoß . .	$4^m{,}50$	Höhe,
„ erste Stockwerk	3 ,60	„
„ zweite „	3 ,00	„
„ dritte „	2 ,80	„
	13 ,90.	

Die obige Regel gibt für die Mauer

des Erdgeschosses . . $\frac{14 + 13{,}9}{48} = 0^m{,}58$,

„ ersten Stockwerkes $\frac{14 + 9{,}4}{48} = 0^m{,}49$,

„ zweiten „ $\frac{14 + 5{,}8}{48} = 0^m{,}42$,

„ dritten „ $\frac{14 + 2{,}8}{48} = 0^m{,}35$.

391. Den Wänden von Holz gibt man die Hälfte dieser Dicke, den Riegelwänden den vierten Theil.

Regeln für die Anordnung der Böden.

392. Ist

a die Breite der Balken,

b die Höhe derselben,

c die freie Tragweite, und

d die Entfernung zweier Balken von Mitte zu Mitte gemessen,

so hat man,

$$a\,b^2 = \frac{c\,d}{510},$$

oder wenn man $a = {}^5/_7\,b$ nimmt,

$$b^3 = \frac{c\,d}{365}.$$

Gewöhnlich wird bei einfachen Böden $d = 1^m$ genommen.

Hiermit hat man

Werthe von	**c**	3^m	4^m	5^m	6^m	7^m	8^m
" "	**b**	0,202	0,222	0,240	0,254	0,268	0,280
" "	**a**	0,142	0,156	0,169	0,179	0,188	0,199

Legt man Balken an Balken, so hat man

$$b^2 = \frac{c}{510}.$$

Bei 6^m Spannweite z. B. wird hier die erforderliche Höhe der Balken.

$$= \sqrt{\frac{6}{510}} = 0^m,109.$$

Diese Formeln geben die erforderliche Stärke um 6 Menschen auf den Quadratmeter mit Sicherheit zu tragen. Ist die Belastung der Boden größer, so berechnet man die Stärke der Balken nach Nr. 335.

Beobachtungsresultate über den Nutzeffekt der Maschinen.

In den folgenden Tafeln sind verschiedene Resultate über den Nutzeffekt der Menschen und Thiere, der Wasserschöpfapparate und über die Menge der Arbeit, welche von den bewegenden Maschinentheilen auf die Maschinen für verschiedene Fabrikationen übertragen werden muß, zusammengestellt. Diese Resultate sind weder so zahlreich, noch so vollständig als wünschenswerth erscheint; allein wenn die Offiziere und Ingenieure, welche dieses Buch lesen, ihre eigenen Beobachtungen über die zur Berechnung verschiedener Anlagen erforderlichen Daten dem Verfasser mittheilen wollten, so würde er dadurch in den Stand gesetzt, diese Tafeln zu vervollständigen und den Praktikern nützlicher zu machen.

393. Erfahrungsresultate über die Größe der Arbeit, welche der Mensch und die Thiere liefern können.

Art der Arbeit.	Erhobenes Gewicht oder mittlere Kraft.	Geschwindigkeit oder Weg in der Sekunde.	Arbeit in der Sekunde.	Tägliche Arbeitszeit.	Größe der Arbeit in 1 Tag.
	ki	m	km	h	km
Vertiale Erhebung von Gewichten.					
Ein Mensch steigt eine sanfte Auffahrt oder eine Treppe ohne Last hinauf, er erhebt nur sein eigen Gewicht	65	0,15	9,75	8	280800
Ein Arbeiter zieht ein Gewicht an einem Seil über eine Rolle in die Höhe; das andere Seilende sinkt leer abwärts	18	0,20	3,60	6	77760
Ein Arbeiter hebt Gewicht frei mit der Hand in die Höhe . . .	20	0,17	3,40	6	73440
Ein Arbeiter trägt Gewicht auf seinen Schultern über ein Gerüste oder eine Treppe und geht leer zurück	65	0,04	2,60	6	56160
Ein Arbeiter führt Materialien mit einem Schiebkarren über eine 1/12 steigende Anfahrt und geht leer zurück	60	0,02	1,20	10	43200
Ein Arbeiter hebt Erde mit der Schaufel auf die mittlere Höhe $1^m,60$	2,7	0,40	1,08	10	38880
Wirkung bei Maschinen.					
Ein Arbeiter an einem Tritt- oder in einem Laufrad.					
1° im Niveau der Axe	60	0,15	9,00	8	259200
2° im untern Theil des Rades, unter 24°	12	0,70	8,40	8	251120
Ein Arbeiter geht drückend oder ziehend horizontal	12	0,60	7,20	8	207360
Ein Arbeiter dreht eine Kurbel .	8	0,75	6,00	8	172800
Ein Arbeiter abwechselnd vertikal auf- und abdrückend	5	1,10	5,50	8	158400
Ein Pferd an einem gewöhnlichen Fuhrwerk, im Schritt . . .	70	0,90	63,00	10	2168000
Ein Pferd am Göpel, im Schritt gehend	45	0,90	40,50	8	1166400
Ebenso, im Trab	30	2,00	60,00	4,5	972400
Ein Ochs am Göpel, im Schritt	65	0,60	39,00	8	1123200
Ein Maulesel am Göpel, im Schritt	30	0,90	27,00	8	777600
Ein Esel am Göpel, im Schritt	14	0,80	11,60	8	334080

394. Oft ist es wichtig zu wissen, welche Kraft ein Arbeiter von mittlerer Stärke kurze Zeit hindurch ausüben kann; diese ist in folgender Tafel enthalten.

Bezeichnung des Apparates.	Kraft in Kilogrammen.
Schnitzmesser	45
Hohlbohrer, mit beiden Händen	45
Schraubenschlüssel	38
Gewöhnlicher Schraubstock, beim Drücken auf den Hebel	33
Meißel oder Bohrer, nach der Länge des Instruments	33
Kurbel	30
Zange, beim Zusammendrücken	27
Hobel	23
Feilkloben	20
Handsäge	16
Drehbohrer	7
Kleine Schraube mit dem Daumen und den Fingern gedreht	6

395. Erfahrungsresultate über den Nutzeffekt des Menschen und der Thiere bei horizontaler Fortschaffung von Lasten.

Art der Fortschaffung.	Fortgeschafftes Gewicht.	Geschwindigkeit oder Weg in der Sekunde.	Nutzeffekt in der Sekunde, oder auf 1 Meter fortgeschaffte Kil.	Tägliche Arbeitszeit.	Nutzeffekt im Tage.
	kil	m	km		
Ein Mann geht auf einem horizontalen Weg ohne Last, bewegt nur sein eigenes Gewicht . .	65	1,50	97,5	10,0	3510000
Ein Arbeiter führt Materialien in einem kleinen zweiräderigen Karren, und geht leer zurück . .	100	0,50	50,0	10,0	1800000
Ein Arbeiter führt Materialien in einem Schiebkarren, und geht leer zurück um neue Lasten zu holen	60	0,50	30,0	10,0	1080000
Ein Reisender trägt eine Last auf dem Rücken	40	0,75	30,0	7,0	756000
Ein Arbeiter trägt Materialien auf dem Rücken, und geht leer zurück um neue zu holen . .	65	0,50	32,5	6,0	702000
Ein Arbeiter trägt auf einer Bahre und geht leer zurück um neue Lasten zu holen	50	0,33	16,5	10,0	594000
Ein Pferd zieht einen Karren im Schritt, bei fortwährender Belastung	700	1,10	770,0	10,0	27720000
Ein Pferd an einem Fuhrwerk im Trab, bei fortwährender Belastung	350	2,20	770,0	4,5	12474000
Ein Pferd schafft Lasten auf einem Karren fort, geht leer zurück um neue zu holen	700	0,60	420,0	10,0	15120000
Ein Pferd trägt auf dem Rücken und geht im Schritt	120	1,10	132,0	10,0	4752000
Ein Pferd auf dem Rücken belastet im Trab	80	2,20	176,0	7,0	4435000

396. Erfahrungsresultate über den Nutzeffekt bei verschiedenen Arten Wasser zu heben.

Anmerkung. Der Nutzeffekt ist durch das Produkt aus dem Gewichte der gehobenen Wassermenge in die Förderungshöhe ausgedrückt.

Art der Erhebung.	Nutzeffekt.	Verhältniß des Nutzeffekts zur Arbeit der bewegenden Kraft.
	km	
Ein Mann mit einem leichten Eimer, bei achtstündiger Arbeit	46000	
Ein Mann mit einer gewöhnlichen Wurfschaufel, achtstündige Arbeit	48000	
Schwungschaufeln. Ein Mann arbeitet 8 Stunden	120000	
Eimer am einem Hebel. Ein Mann arbeitet 8 Stunden, der Brunnen hat 2—3m Tiefe . .	60000	
4—5m Tiefe . .	70000	
Eimer an einem Seil über einer Rolle. Ein Mann arbeitet 8 Stunden	77000	
Sehr tiefer Brunnen. Ein Seil über eine Welle mit Schwungrad und Kurbel. Ein Mann arbeitet 8 Stunden	170000	
Göpel in 8 Stunden,		
ein Mann	200000	
ein Pferd oder Maulesel	1166000	
ein Ochs	1120000	
ein Esel	334000	
Geneigtes Schaufelwerk, in 8 Stunden Arbeitszeit, ein Mann an einer Kurbel, die nicht über 30 Umdrehungen in einer Minute machen darf .	68000	
ein Pferd	449000	0,38
Die Geschwindigkeit der Schaufeln darf nicht über 1m,50 in 1′ betragen.		
Vertikales Schaufelwerk, 8 Stunden Arbeit,		
ein Mann an der Kurbel	115000	
ein Pferd	647000	
Kastenkunst von Gateau verbessert.		
Das Verhältniß des Nutzeffekts zum Kraftaufwand ändert sich mit der Höhe, in welcher die Maschine das Wasser ausgießt.		
Für Höhen von 1m ist er gleich	. .	0,48
" " " 2m " " " , ...	. .	0,57
" " " 3m " " "	. .	0,63
" " " 4m " " "	. .	0,66
" " " 6m " " "	. .	0,70
Kastenkunst von Burel, achtstündige Arbeit,		
ein Pferd	671000	
ein Esel	334000	0,58

Art der Erhebung.	Nutzeffekt.	Verhältnis des Nutzeffekts zur Arbeit der bewegenden Kraft.
	km	
Chinesisches Rad, durch Menschen auf einem Trettrad in der Höhe der Axe bewegt; ein Mann in 8 Stunden	144864	0,58
Das Wasser wird wenigstens $0^m,50$ bis $0^m,60$ über das Niveau des Reservoirs erhoben.		
Schöpfrad (Tympanum) durch Menschen in einem Laufrad bewegt; ein Mann in 8 Stunden Arbeitszeit	211000	0,80
Anderes Schöpfrad (Tympanum) von Perronnet gebraucht.		
Das Rad hat 24 Curven, nach der Kreisevolvente gekrümmt, welche das Wasser in 12 Kammern des innern Cylinders gießen.		
Der äußere Durchmesser des Rades ist . $6^m,30$ Die innere Weite . . . . . $1^m,00$ Der Durchmesser der innern Trommel . $1^m,07$ Das Gewicht des Rades . . 3500 bis 3900^k		
Mit 12 Arbeitern wurden folgende Resultate erhalten:		

Tiefe, auf welche das Rad eingesenkt ist.	Zahl der Umdrehungen in 1 Minute.	Gehobenes Wasser in 1 Stunde.	Täglichen Effekt von 1 Mann in 8 Stund.
m		mc	
0,325	2,00	148,5	257400
0,244	2,50	123,7	214413
0,162	3,00	111,0	192400
0,081	3,00	74,2	128613

Eimer-Rad	"	0,60
Wurfrad mit ebenen Schaufeln in einem kreisförmigen Gerinne, Flashwheel genannt .	. .	0,70
Archimedische Schnecke, in 8 Stunden ein Mann	100000	0,70- 0,75
Der äußere Durchmesser ist gewöhnlich $^1/_{12}$ der Länge der Schraube, der Durchmesser der Spindel ist $^1/_3$ des äußern Durchmessers. Sie soll 3 ganze Schraubengänge haben, die mit der Axe einen Winkel von 67 bis 70° machen. Die vortheilhafteste Neigung der Schraubenaxe gegen den Horizont liegt zwischen 30 und 45°.		
Hydraulischer Widder. Die Resultate dieser Maschine hat Eytelwein mit vieler Sorgfalt beobachtet; sie sind in folgender Tafel enthalten.		

Anzahl der Schläge des Sperrventils.	Ausgeflossene Wassermenge.	Höhe des Falls.	Absolute Kraft des Wassers.	Erhobene Wassermenge.	Förderungshöhe.	Nutzeffekt.	Verhältniß des Nutzeffekts zur Arbeit des Wassers.
	Liter.	m	km	Liter.	m	km	
66	48,4	3,066	148,0	15,40	8,02	123,5	0,835
54	63,5	3,099	196,5	17,42	9,86	172,0	0,875
50	54,6	3,027	165,0	11,92	11,78	140,3	0,851
52	37,1	2,437	90,2	7,67	9,86	75,6	0,840
45	49,8	2,661	135,0	9,52	11,78	112,0	0,830
42	45,1	2,262	102,0	6,82	11,78	80,3	0,787
36	40,4	1,843	74,4	4,78	11,78	56,3	0,755
26	23,8	1,386	33,0	2,25	9,86	22,2	0,667
31	36,6	1,543	56,4	3,20	11,76	37,6	0,667
23	50,5	1,255	63,4	2,95	11,78	34,7	0,547
17	49,1	0,915	44,8	2,18	9,81	21,4	0,477
15	56,1	0,981	55,0	1,65	11,78	19,4	0,353
14	54,8	0,758	41,6	1,00	11,78	11,8	0,284
10	44,6	0,601	26,8	0,41	11,78	4,8	0,179

Eytelwein gibt folgende Verhältnisse als die für die Konstruktion hydraulischer Widder passendsten an.

Die Länge der Leitröhre soll der Steighöhe mehr dem doppelten Werth des Verhältnisses des Falls und der Förderungshöhe gleich seyn.

Der Durchmesser dieser Röhre soll 1,7mal die Quadratwurzel aus dem Volum der verbrauchten Wassermenge seyn; was damit übereinstimmt, dem Wasser eine Geschwindigkeit von $1^m,82$ in der Sekunde zu lassen; der Durchmesser der Steigröhre soll der Hälfte des Durchmessers der Leitröhre gleich seyn. Die Steigröhre soll oben nicht umgebogen seyn.

Die beiden Ventile sollen möglichst nahe beisammen liegen. Im Allgemeinen sind Scheibenventile den Klappen vorzuziehen, doch kann man diese bei Röhren von $0^m,30$ Durchmesser und darüber anwenden.

Die Oeffnung des Sperrventils soll dem Querschnitt der Leitröhre gleich seyn. Das Steigventil soll die nämliche Oberfläche haben. Diese Ventile sollen möglichst leicht seyn.

Es ist hinreichend, wenn der Windkessel an Inhalt der Leitröhre gleich ist.

Bewegende Maschinen und angewendete Apparate.	Nutzeffekt.	Verhältniß des Nutzeffekts zur Arbeit der bewegenden Kraft.
	km	
Wasserfäulmaschinen von Reichenbach .	—	0,50
Kunstsätze in den Gruben.		
Resultat von 8 Maschinen mit niederm Druck zu Anzin und der Pumpe zu Gros-Caillon . . .	—	0,66
Anmerkung. Man nimmt hier für die entwickelte Arbeit der Kraft die, welche die Maschine zu Nutzen bringt, und es ist zu bemerken, daß lange Steigröhren bedeutende Verluste herbeiführen.		
Pumpe auf der Saline zu Dieuze.		
Der Nutzeffekt des Wasserrades ist . . 228km		
Der Nutzeffekt der Pumpe 125km	. . .	0,523
Die erhobene Wassermenge nimmt 4/5 des vom Kolben durchlaufenen Raums ein.		
Die Länge der Leitröhren für das süße Wasser ist 361m und ihr Durchmesser 0m,06.		
Die Länge der Röhren für die Soole ist 636m und ihr Durchmesser 0m,108.		
Die Soole wird nur auf 16 bis 18m Höhe gefördert.		

Bei Anordnung von Pumpen hat man folgende Regeln zu beobachten:

Die Geschwindigkeit der Kolben soll zwischen 0m,16 und 0m,25 in der Sekunde betragen.

Die Oeffnung der Ventile soll ungefähr die Hälfte des Stiefelquerschnitts seyn.

Die Durchmesser der Saugröhre und der Leitröhre sollen = 2/3 vom Durchmesser des Stiefels seyn.

Der Kolbenhub bei großen Pumpen soll 1m bis 1m,50 seyn.

Der schädliche Raum soll so klein als möglich seyn.

Bei gut erhaltenen Pumpen vermindern die Verluste durch das schlechte Schließen und wegen der Dauer des Schließens der Klappen die geförderte Wassermenge gewöhnlich auf 4/5 von der aus dem Querschnitt des Kolbens und seinem Gang berechneten.

397. Erfahrungsresultate über die Maschinen bei verschiedenen Fabrikationszweigen.

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine*	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Mahlmühlen.		
Alte französische Mühle zu Senelles bei Longwy.		
Durchmesser der Mühlsteine . . . . . $1^m,78$		
Zahl der Umdrehungen der Steine in 1′ . . 70		
Die Steine waren frisch gehauen, das Mahlen sehr beschleunigt, zur Bereitung der Lebensmittel für den Krieg bestimmt; die Produkte gebeutelt.		
Quantität des in 1 Stunde erhaltenen Mehls $118^k,50$	252	3,34
Englische Mühle zu Lonjau bei Metz.		
Durchmesser der Steine . . . . . $1^m,30$		
Zahl der Umläufe der Steine in 1′ . . . 110		
Gewicht der Mühlsteine 1000kil		
Quantität des in 1 Stunde von einem Gang erhaltenen Mehls 100kil		
Bewegte Maschinen { zwei Mahlgänge . . . . ein Bürstenbeutelwerk . . eine Putzmaschine . . .	637	8,50
Englische Mühle zu Regret bei Verdun.		
Durchmesser der Mühlsteine . . . . . $1^m,30$		
Zahl der Umläufe in 1′ 110		
Mehlquantum in 1 Stunde bei einem Mahlgang 100kil		
Bewegte Maschinen. — Zwei Mahlgänge . . .	422	5,64
Nebenmaschinen in der Getreidemühle zu Regret bei Verdun.		
Thätige Maschinen { zwei Bürsten, eine Putzmaschine.		
Gebeuteltes Mehl in 24 Stunden durch ein Beutelwerk 750kil	486	6,50
Feldmühle bei Soest. Nach Egen.		
I. Mahlgang.		
Zahl der Umläufe 75		
Ein Mahlgang schrotet in 1 Stunde 91kil Gerste mit	154	2,02

* Es ist ohne Zweifel überflüssig, zu bemerken, daß unter der Arbeit der bewegenden Maschine ihr Nutzeffekt verstanden sei. So ist es bei einem Wasserrade die wirklich fortgepflanzte Arbeit (Nr. 115 u. f.), bei einer Dampfmaschine, die auf die Welle des Schwungrads fortgepflanzte (Nr. 212 u. f.)

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
II. Mahlgang.		
Umläufe in 1′ 64		
In 1 Stunde wurden 88kil,5 Weizen zu feinem Mehl gemahlen	165	2,2
Wiskoczilsche Mühle in Prag. Nach Gerstner.		
Durchmesser der Mühlsteine 0m,82		
Zahl der Umläufe in 1 Minnte 238		
Mehlquantum in 1 Stunde von 2 Mahlgängen: 52kil feines Weizenmehl, 6mal aufgeschüttelt, ebenso Korn; oder 104kil gröberes Kornmehl, 3mal aufgeschüttet; oder 300kil Gerstenschrot, 1mal aufgeschüttet.		
Bewegte Maschinen. — Zwei Mahlgänge . . .	1222	16,3
Fuchs'sche oberschlächtige Mühle bei Weinheim, zweiter Mahlgang.		
Durchmesser der Mühlsteine 0m,990		
Zahl der Umdrehungen in 1 Minute . . . 216		
Quantität des in 1 Stunde erhaltenen Mehls 49kil von Roggen, der dabei 4 bis 5mal aufgeschüttet wird.	527	7,03
Nudelfabrik zu Ars bei Metz.		
Durchmesser des vertikalen Mühlsteins { außen 1m,70 / innen 1m,60		
Umläufe in 1′ 4		
Gewicht des in 1 Stunde bereiteten Teigs 35kil	221	2,95
Sägmühlen.		
Säge der Mühle mit drei Gängen zu Metz mit Krummzapfen nnd Schwungrädern.		
Die Bewegung wird der Welle des Krummzapfens durch einen Riemen mitgetheilt.		
Gewicht des Gatters 383kil		
Erste Beobachtung. Das gesägte Holz ist trockne Eiche von 0m,222 Höhe.		
Zahl der Sägblätter 1		
Zahl der Schnitte in 1′ 88		
Schnittfläche in 1′ 0mq,0488	249	3,33
Zweite Beobachtung. Dasselbe Holz.		
Zahl der Sägblätter 4		
Zahl der Schnitte jeder Säge 79		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Schnittfläche in 1′ 0mq,161 oder für jedes Blatt 0mq,04025	277	3,70
Dritte Beobachtung. Das geschnittene Holz ist eine vor vier Jahren gefällte Eiche, und von 0m,315 Höhe.		
Zahl der Sägblätter 4		
Zahl der Schnitte jedes Blatts in 1′ . 90		
Schnittfläche in 1′ 0mq,131 oder für jedes Blatt 0mq,033	337	4,50
Vierte Beobachtung. Das geschnittene Holz ist eine vor einem Jahr gefällte Buche, cylindrisch von 0m,60 mittlerem Durchmesser.		
Zahl der Sägblätter 1		
Zahl der Schnitte in 1′ 88		
Schnittfläche in 1′ 0mq,090	225	3,00
Bei den vorstehenden Beobachtungen machte die gewalzte Stahlsäge einen Schnitt von 0m,004 Breite.		
Diese Resultate zeigen, wie wenig mehr Kraft erfordert wird, wenn man statt eines, mehrere Sägenblätter einsetzt; was von dem bedeutenden Gewichte des Gatters herrührt.		
Wiskoczilsche Sägmühle in Prag. Nach Gerstner.		
Zahl der Sägblätter 1		
Zahl der Schnitte in 1′ 120		
Hubhöhe 0m,395		
Breite des Schnitts 0m,0077		
Schnittfläche in 1 Minute 0mq,0749	488	6,5
Das gesägte Holz war grünes Tannenholz von 0m,237 Höhe.		
Sägmühle auf der Herrschaft Stahlau in Böhmen. Nach Gerstner.		
Schnittfläche in 1′ von einer Säge . . 0mq,1332	563	7,5
Das geschnittene Holz ist Tannenholz, 0m,368 hoch.		
Oberschlächtige Sägmühle in Böhmen. Nach Gerstner *).		
Zahl der Sägblätter 1		

*) Bei dieser und der vorhergehenden Beobachtung wurde die Größe der Arbeit nach den Formeln dieses Buchs bestimmt. v. Gerstner hat hierfür etwas andere Zahlen.

Art der Maschinen und allgemeine Daten.		Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
		km	
Zahl der Schnitte in 1′	98		
Hubhöhe der Säge	0m,395		
Schnittfläche in 1 Minute (ununterbrochene Arbeit)	0mq,1249	665	8,9
Weiches Holz, 0m,395 dick.			
Circulärsäge in der Mühle mit drei Gängen zu Metz.			
Durchmesser der Säge	0m,70		
Erste Beobachtung. Ein Jahr gefälltes Eichenholz von 0m,222 Höhe.			
Zahl der Umläufe der Säge in 1′ . . .	266		
Schnittfläche in 1′	0mq,18	266	3,55
Zweite Beobachtung. Tannene Bretter, trocken, 0m,25 breit und 0m,027 dick.			
Zahl der Umläufe in 1′	244		
Schnittfläche in 1′	0mq,75	552	7,35
Anmerkung. Hieraus sieht man, wie eine Circularsäge bei kleinem Holz wenigstens so viel ausführt, als vier vertikale Sägen in derselben Zeit und bei derselben Kraft.			
Man wird bemerken, daß bei diesen Angaben die Schnittfläche das Produkt aus der Höhe des Holzes in die gesägte Länge ist, und nicht die Summe der beiden erhaltenen Flächen, was man gewöhnlich beim Verkauf des Holzes angibt.			
Furniersäge.			
Länge des Sägenhubs	1m,20		
Dicke des Holzblattes	0m,00033		
Dicke des Sägenschnitts	0m,00060		
Länge der Zähne für Acajou und andere kostbare Hölzer	0m,005		
Zwischenraum zwischen den Zähnen nach der Länge der Säge	0m,010		
Größe, um welche das Holz nach jedem Schnitte fortschreitet . .	0m,0005 bis 0m,0010		
Zahl der Schnitte in 1′	180		
Schnittfläche in 1h (beide Flächen gerechnet)	10mq	50	0,66

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Maschinen zum Rauhen der Tücher.		
Manufaktur zu Sedan; Etablissement *de la Vierge.*		
Zahl der Rauhmaschinen, durch eine Dampfmaschine betrieben 50	1500	20,00
Zahl der Maschinen für jede Pferdskraft . 2,46		
Drei Pferde an einem Göpel treiben vier Rauhmaschinen	100—120	1,33—1,6
Vier Menschen an einer Kurbel treiben eine Rauhmaschine	24	0,33
Etablissement der Esplanade zu Sedan.		
Zahl der Rauhmaschinen, die durch eine Dampfmaschine getrieben werden 19	536	7,15
Zahl der Maschinen auf eine Pferdskraft . 2,66		
Wollspinnereien.		
Zu *Signy-l'Abbage*, bei *Réthel*..		
Bewegte Maschinen.		
Einfache Karden 29	731	9,75
Doppelte Karden 2		
Trikbell 1		
Spinnstühle von 240 Spindeln 8		
Spinnstühle von 200 Spindeln 4		
Drehbänke 2		
Drehbank zum Schleifen der Karden . . . 1		
Zu *Signy-l'Abbage.*		
Einfache Karden 9	262,5	3,50
Doppelte Karden 3		
Spitzenmaschinen 2		
Flackmaschinen (batteuses) 2		
Wölfe 2		
Mechanische Baumwollenweberei zu Broque *(Vosges).*		
Anzahl und Art der vom Rad getriebenen Maschinen.		
Webstühle 260		
Schlichtmaschinen 15		
Spuhlstühle 5		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.		Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
		km	
Scherrahmen	8		
Kleine Pumpen	6		
Produkt in einem Monat	86400 Meter	1920	25,6
Zahl der Webstühle mit Nebenmaschinen auf eine Pferdskraft	12		
Mechanische Baumwollenweberei zu *Grand-Fontaine (Vosges)*.			
Maschinen, welche das Rad bewegt.			
Webstühle	60		
Schlichtmaschinen	5		
Scherrahmen	3		
Spuhlstühle	2		
Fabrikat in 1 Monate, 450 Stücke von $1^m,20$ Breite auf 360^m Länge		600	8
Zahl der durch 1 Pferdskraft sammt Nebenmaschinen bewegten Webstühle	7,5		
Zu Mühlhausen.			
Webstühle	300	2797	37,3
Schlichtmaschinen	19		
Webstühle auf 1 Pferdekraft	8,05		
Man rechnet 1 Pferdekraft auf 1 Schlichtmaschine.			
Baumwollenspinnerei.			
Zu Mühlhausen.			
Zahl der Spindeln	26000	8250	110
Nummer des Gespinnstes	30 bis 40		
Zahl der durch eine Pferdekraft bewegten Spindeln	237		
Zahl der Spindeln	14508	3787	50,5
Nummer der Fäden	30 bis 40		
Zahl der Spindeln auf 1 Pferdskraft	287		
1 Flackmaschine (batteur) mit Ventilator zu 2 Schlägern mit 3 Flügeln von $0^m,41$ Durchmesser und $0^m,82$ Länge.			
Zahl der Umläufe in 1'	1100		
Der Ventilator hat $0^m,50$ Durchmesser und 0,25 Länge und macht in 1 Minute Umläufe	550		
Produkt in 1 Stunde	60 kil	. .	2,916 *)

*) Diese und die folgenden Beobachtungen über Spinnereien sind auf Veranlassung der société industrielle zu Mühlhausen durch Herrn Lapointe gemacht worden.

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
1 Flackmaschine mit 1 Schläger zu 2 Flügeln von 0m,37 Durchmesser und 0m,86 Länge macht in 1′ Umläufe . . . . . 11 bis 1200 mit einer Kammwalze von 0m,375 Durchmesser auf 0m,81 Länge, welche in 1′ . 800 Umläufe macht.		
Diese verarbeitet in 1 Stunde 60kil	. . .	1,767
Führung der Riffelwalzen und des Tuchs ohne Ende von dieser Flackmaschine	. . .	0,312
12 doppelte Karden, mit der dazu gehörigen Transmission der Bewegung	. . .	2,697
Für jede Karde	. . .	0,225
Transmission der Bewegung für 26 Karden . .	. . .	1,820
1 einfache Grobkarde auf einer Trommel von 1m Durchmesser und 0m,50 Länge, mit Excentricum, 130 Umläufe in 1 Minute machend, mit 14 Deckeln, liefert in 1 Stunde . . . . 0kil,93 und bedarf dazu, ohne die Mittheilung der Bewegung	. . .	0,066
Dieselbe Karde leer gehend	. . .	0,045
1 doppelte Auskarde von 0m,975 Länge macht 130 Umläufe in 1′, ohne die Mittheiler der Bewegung	. . .	0,081
Dieselbe Karde, leer gehend	. . .	0,044
1 doppelte Auskarde von 1m,00 Durchmesser und 0m,86 Länge mit cylindrischem Kamm, 14 Deckeln macht 110 Umläufe in 1 Minute und liefert in 1 Stunde 1kil,90	. . .	0,207
1 doppelte Auskarde der vorherigen ähnlich, liefert 1,90	. . .	0,270
Streckwerke zu 2 Bänken, jede mit 7 doppelten Köpfen und Vereinigungsmaschinen; eine Bank mit 4 Köpfen ohne Dublirapparat und 2 Roulettebänken mit 12 Köpfen jede, und mit einem Dublirapparat. Diese verarbeiten in 1 Stunde 54kil	. . .	1,835
1 Grobspindelbank durch eine Schnur getrieben, mit 60 Spindeln, die in 1′ 525 Umläufe machen. Liefert 19kil von Nr. 0,7 bis 0,9	. . .	0,760
1 Grobspindelbank mii schneckenförmigem Getriebe, 60 Spindeln mit 550 Umläufen in 1′. Produkt in 1 Stunde 19kil von 0,7 bis 0,9	. . .	0,486

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
2 solche Bänke, die eine mit 96 Spindeln, die 510 Umläufe in 1′ machen, die andere mit 96 Spindeln in 500 Umläufen. Produkt 13kil von Nr. 2,75 bis 3	. . .	1,482
2 Spindelbänke mit schneckenförmigem Getriebe, eine mit 78 Spindeln und 344 Umläufen, die andere mit 60 Spindeln und 260 Umläufen. Produkt in 1 Stunde 26kil von Nr. 0,8 bis 1,0	. . .	0,797
1 Feinstuhl, durch Schnüre getrieben, mit 240 Spindeln, die 5000 Umläufe in 1 Minute machen. Produkt 0kil75 Nr. 38 bis 40	. . .	0,686
1 ganz gleicher Feinstuhl mit demselben Produkt .	. . .	0,648
1 Feinstuhl mit 240 Spindeln, 4800 Umläufen in 1′ liefert 0kil,95 Kette	. . .	0,532
1 Feinstuhl unter denselben Umständen und mit demselben Produkte, der als der schwerfälligste der Fabrik bezeichnet wurde	. . .	0,929
3 Feinstühle für Einschlag, jeder hat 360 Spindeln mit 4840 Umläufen in 1′. Sie liefern in 1 Stunde 3kil,72 Garn von Nr. 30 bis 40	. . .	2,103
1 Feinstuhl für Kettengarn. 300 Spindeln. 4300 Umläufe in 1′. Produkt Nr. 32	. . .	0,697
1 Zwirnstuhl von 120 Spindeln, die 2100 Umläufe in 1′ machen	. . .	0,802
1 Zwirnstuhl von 120 Spindeln, die 3000 Umläufe in 1′ machen	. . .	1,190
1 Schlichtmaschine für Calicot von 0m,90 Länge, schottisches System. Geschwindigkeit der Hauptwelle, 176 Umläufe in 1′, Geschwindigkeit der Bürsten, 45 Schläge in 1′	. . .	0,594
Dieselbe Maschine (der Riemen des Ventilators überspannt)	. . .	0,735
1 ähnliche Maschine	. . .	0,663
Dieselbe Maschine mit ausgehängtem Ventilator .	. . .	0,206
1 Schlichtmaschine für Calicot von 0m,90, schottisches System; mit 2 Ventilatoren von 0m,53 Durchmesser auf 1m,00 Länge, die 212 Umläufe in 1′ machen; die Bürstenschläge 40mal in 1′	. . .	0,313
1 Webstuhl, System von M. A. Köchlin, für Calicot von 0m,90 Breite und 32 bis 35 Fäden Einschlag auf den Centimeter, 105 Schläge in der Minute	. . .	0,140

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
1 ähnlicher Webstuhl	. . .	0,090
1 " "	. . .	0,104
1 " "	. . .	0,134
Mittel . . .	. . .	0,120
Wollspinnerei.		
1 Spuhlstuhl mit 16 Spuhlen ohne die Transmission	. . .	0,259
3 Spuhlstühle zusammen mit 64 Spuhlen mit der Transmission	. . .	1,427
1 Spinnstuhl für die Kette. 220 Spindeln mit 3630 Umläufen. Garn Nr. 6	. . .	0,259
1 Spinnstuhl (Boxorgan) mit 300 Spindeln von 3200 Umläufen, liefert Kette von Nr. 50 . .	. . .	1,273
Flachsspinnerei.		
1 Brechkarde mit Windrad von 0^m,320 Durchmesser und 1^m,20 Breite, das 915 Umläufe in 1′ macht; mit einer großen Trommel von 1^m,07 Durchmesser auf 1^m,20 Länge, die 76mal in 1′ umlauft; 4 Debourreur von 0^m,10 Durchmesser und 1^m,20 Länge, 380 Umläufe in 1′; 3 Arbeitswalzen von 0^m,127 Durchmesser und 1^m,20 Länge, die 10,03 Umläufe in 1′ machen; 1 Kammcylinder von 0^m,38 Durchmesser und 1^m,20 Länge der 6,1 Umläufe in 1′ macht. Diese Maschine liefert in 1′ . . . . . 7^{kil},7	. . .	1,939
1 Feinkarde mit Trommel von 1^m,07 Durchmesser auf 1^m,20 Länge, die 176 Umläufe in 1′ macht, mit 5 Debourreur von 0^m,1 Durchmesser und 1^m,20 Länge die 230 Umläufe in 1′ machen, und 4 Arbeitswalzen von 0^m,127 Durchmesser und 1^m,20 Länge, 7,3 Umläufen in der Minute, einem Kämmcylinder von 0^m,38 Durchmesser und 1^m,20 Länge mit 3,4 Umläufen in 1′ Diese Maschine liefert in 1 Stunde 3^{kil},85	. . .	0,811
1 Drosselmaschine mit 132 Spindeln, die 2260mal in 1′ umlaufen, liefert in 1 Stunde 1^{kil},7 Garn von Nr. 7,5 bis 9	. . .	1,240
1 Drosselmaschine mit 168 Spindeln, die 2700 Umläufe in 1′ machen, liefert 1^{kil},04 Garn von Nr. 18 bis 24	. . .	1,960

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Papiermühlen.		
Papiermühle mit Stampfern zu Ars bei Metz.		
Gewicht der Stampfer . . . . . 110 kil		
Entfernung ihres Schwerpunkts von der Rotationsaxe 1 m,25		
Erhebung des Schwerpunkts beim Hub 0 m,088		
Zahl der Stampfer 16		
Zahl der Hübe in 1′ { für jeden Stampfer 55 / für alle Stampfer 886		
Gewicht der in 12 Stunden von einem Stampfer zertheilten Lumpen . . . 15 k		
Gewicht des in 12 Stunden produzirten Zeugs 10 k	202	2,70
Nutzeffekt, der jedem Hub eines Stampfers entspricht . . . . . 110 × 0,088 = 9 km,68		
Arbeit der bewegenden Maschine hierzu $\frac{202 \times 60}{880} = 13^{km},79.$		
Holländer zur Bereitung der Papiermasse zu Ars.		
Zahl der bewegten Holländer 2		
Zahl der Umläufe in 1′ 220		
Gewicht der zerrissenen Lumpen in 12 Stunden 240 k	336	4,48
Das Zeug ist von mittlerer Qualität.		
Andere Holländer zu Ars.		
Zahl der Holländer 2		
Zahl ihrer Umläufe in 1′ 220		
Gewicht der verarbeiteten Lumpen . 200 bis 225 kil	415	5,54
Zu Vasselonne *(Bas-Rhin)*.		
Ein Holländer bereitet 216 Kilogramm Zeug von mittlerer Qualität in 24 Stunden.		
Zahl der bewegten Cylinder { ein Grobarbeiter / ein Feinmacher } 2	413	5,50
Glasfabrikation.		
Mühlen für die Mennige zu Baccarat *(Meurthe)*.		
Zahl der Mahlfässer 3		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.			Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
Umläufe der vertikalen Wellen in 1'	bei dem ersten Faß	20		
	" " zweiten "	25		
	" " dritten "	40	403	5,28
Vertikale Mühlsteine zum Zerkleinern der Erden und Tiegelbruchstücke.				
Durchmesser der Mühlsteine von		1m,13		
Dicke der Granit, aus den		0m,43		
Gewicht Vogesen		1120kil		
Entfernung der mittlern Ebene der Mühlsteine vom vertikalen Wellbaum		1m,20		
Zahl der Umläufe der Welle der Mühlsteine in 1'		7,50	135	1,92
Produkte:				
Bruchstücke aus alten Tiegeln, sogenannte Hafenschalen; man gibt in 12 Stunden 6 bis 8mal auf, wovon man jedesmal 145k feinen Sand erhält, zusammen		870 bis 1160kil		
Trockne fette Erde ungefähr		3000kil		
Glasschleiferei zu Baccarat.				
Erste Beobachtung. Großes mittelschlächtiges Rad.				
Durch das Rad bewegte Maschinen:				
Drehbänke zum Schleifen der Krystallgläser		170		
Drehbänke zur Herstellung der Mühlsteine		5		
Metalldrehbänke		2		
Zahl der durch eine Pferdskraft bewegten Drehstühle		9,5	1320	17,90
Rad mit gekrümmten Schaufeln.				
Zahl der Drehstühle zum Schleifen, welche das Rad treibt		90	800	10,00
Zahl der Drehstühle auf jede Pferdskraft		9		
Bohrerei von Bronzekanonen; Dampfmaschine der Gießerei von Douai.				
Zahl der Umläufe der Kanonen in 1' 10 bis 12 höchstens.				
Zahl der durch die Maschine bewegten Bänke		4	900	12,00
Wasserrad der Gießerei zu Toulouse.				
Zahl der durch das Rad bewegten Bänke		4	900—975	12—13
Göpel der Gießerei zu Straßburg.				
Vier Pferde an einem Göpel bedienen eine Bank			160—200 höchstens	2,14—2,67

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Man beobachtet, daß die Pferde beim Vorbohren und andern härtern Arbeiten langsamer gehen und sehr ermüden.		
Bohrerei für Kanonen aus Gußeisen zu Ruelle in der Nähe von Angouleme.		
Für eine Bank	150—225	2—3
Bohrbank für die Cylinder zu Dampfmaschinen und Gebläsen	150—225	2—3
Schleiferei zur Herstellung großer Sägen und grober Quincaillerie.		
Maschinen vom Rad bewegt, und Angaben.		

Bezeichnung der Schleifsteine.	Zahl.	Durchmesser.	Zahl der Umläufe in 1′.
		m	
Schleifsteine für große Sägen .	2	2—2,10	72
Schleifsteine für Werkzeuge . .	2	2,00	72
Kleiner Schleifstein	1	1,50	204
Polirsteine für die Sägen . . .	2	1,30	476
Kleine Polirsteine für die Werkzeuge	4	0,60—0,80	700—600
Ein Gebläse für ein Raffinirfeuer, zu 1,50 Pferdskräften geschätzt		900	12
Schleiferei für Pariser Stifte, zu Fleur-Moulin (Mosel).			
Zahl der bewegten Schleifsteine	8	318	4,25
Waschrad in den Indienne-Fabriken.			
Durchmesser des Cylinders	2m		
Länge	0m,80		
Zahl der Umläufe des Waschrads in 1′ .	25		
Zahl der Waschräder in Thätigkeit . . .	2	236	3,15
Oelmühle in Moulins bei Metz.			
Gewicht der Mühlsteine	3000k		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.		Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
		km	
Zahl der Umläufe des vertikalen Baums in 1′	6		
Gewicht der immer nach 10′ aufgegebenen Samen	25k		
Gewicht des in 1 Tag zerriebenen Samens	1500		
Produkt an Oel in 12 Stunden	600	205	2,72
Oelmühle mit einem Göpel für ein Pferd, das neun Stunden täglich arbeitet, und mit einem andern abwechselt.			
Produkt in 18 Stunden: 3 Tonnen von 98kil oder	294kil	40	0,53
Zahl der Umdrehungen der vertikalen Welle in 1′	4 bis 5		
Eisenhütten.			
Pochwerk zu Moyeuvre.			
Zahl der Stämpel in 3 Abtheilungen .	44		
Gewicht eines Stämpels	85kil		
Hubhöhe des Stämpels	0m,33		
Zahl der Hübe jedes Stämpels bei einer Umdrehung der Daumenwelle . . .	3		
Zahl der Umläufe der Daumenwelle in 1′	9,933		
Zahl der Hübe in 1′	1786	840	11,20
Zahl der Hübe jedes Stämpels in 1′ .	40,6		
Effekt für jeden Stempelhub .	$85 \times 0{,}33 = 28^{km}$		
Arbeit, die hierzu von der bewegenden Maschine fortgeleitet werden muß .	$\frac{840}{44} \times \frac{60}{40{,}6} = 33^{km},7$		
Doppeltes Pochwerk beim Hochofen zu Hayange.			
Zahl der Stämpel	32		
Gewicht eines Stämpels	80k		
Hubhöhe	0m,295		
Zahl der Hübe für jeden Stämpel in 1′	50	698	23,60
Nutzeffekt bei jedem Hub .	$20 \times 0{,}295 = 23^{km},6$		
Arbeit des Bewegers hierzu	$\frac{698}{32} \times \frac{60}{50} = 26^{km},2$		
Das Produkt eines Stämpels in 24 Stunden an gepochten Materien ist an Erz . . .	2500k		
Kalksteine . .	2500		
kleinen Kieseln	250		
Schlacken . .	1500		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Wassertrommelgebläse.		
Sind die Röhren nicht übermäßig lang, so ist der Nutzeffekt — durch die Hälfte der lebendigen Kraft der bewegten Luft gemessen — $^1/_{10}$ der absoluten Kraft des Wassers.		
Der Durchmesser der Einfallröhren, die gewöhnlich vertikal sind, ist im Lichten $0^m,20$ bis $0^m,25$ bei einer Höhe derselben von wenigstens 7 bis 8^m.		
Die obere Oeffnung, der Trichter, hat $0^m,12$ bis $0^m,16$ Durchmesser.		
Die Luftsauglöcher unterhalb des Trichters sind an Zahl 4, von oben nach unten gerichtet, und haben $0^m,10$ bis $0^m,15$ Länge.		
Gebläse mit zwei Cylindern, das zwei Hochöfen von 12 bis 13^m Höhe und einen Cupolofen bedient. Bei kalter Luft.		
Durchmesser der Kolben . . . . . $1^m,746$		
Hubhöhe . . . . . 2^m		
Zahl der Hin- und Hergänge eines Kolbens in 1′ 10,50		
Geschwindigkeit der Kolben in 1″ . . . $0^m,35$		
Mittlere Pressung des Windes in Höhen der Quecksilbersäule: in den Cylindern $0^m,063$; bei den Düsen . $0^m,059$		
Durchmesser der Düsen: 1ster Ofen mit 2 Formen von $0^m,060$; 2ter „ „ 2 „ „ $0^m,054$; Cupolofen mit 1 Form von $0^m,058$		
Luftmenge in 1″: 1ster Ofen . . . . . $0^{mc},588$; 2ter „ . . . . . $0^{mc},475$; Cupolofen . . . . . $0^{mc},129$		
Summe . $1^{mc},192$		
Von den Kolben durchlaufener Raum $2 \times \frac{0,7854\,(1,746)^2 \times 2 \times 10,50}{60} = 1^{mc},68$		
Verhältniß der ausgeblasenen Luftmenge zu dem von den Kolben durchlaufenen Raum $\frac{1,192}{1,680} = 0,707 = \frac{5}{7}$	1736	23,17
Arbeit des Rades für jeden Hochofen	725	10,30
Für den Cupolofen	186	2,48

Art der Maschinen und allgemeine Daten.		Größe der Arbeit der bewegenden Maschine	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
		km	
Dieselbe Maschine mit warmer Luft.			
Drei Hochöfen von 13 bis 14m Höhe.			
Durchmesser der Düsen . . .	0m,07 bis 0m,08		
Temperatur der Luft nahe bei den Formen	200°		
Pressung der Luft bei den Formen in Höhe einer Queckſilberſäule	0m,050		
Luftmenge, welche durch die beiden Röhren in jeden Ofen kommt } von der Temperatur 200°	1mc,148		
" " " 10°	0mc,685		
Produkt dieſer Oefen in einem Monat, ein Hochofen mit Coaks betrieben .	120000 kil	1858	24,60
mit Holzkohlen betrieben	160000		
Arbeit des Rades für jeden Ofen		620	8,27
Gebläſe des Hochofens zu Framont (Vogeſen) mit einem Cylinder und kalter Luft.			
Höhe des Ofens	9m,10		
Pressung der Luft in der Nähe der Formen Queckſilberhöhe	0m,049		
Durchmesser der Düſe	0m,08		
Luftmenge, die in 1″ in den Ofen kommt	0mc,462	600	8,00
Durchmesser des Kolbens	1m,31		
Hubhöhe	0m,79		
Geſchwindigkeit deſſelben	0m,479		
Vom Kolben durchlaufener Raum . . .	0mc,645		
Verhältniß der ausgeblaſenen Luftmenge zu dem vom Kolben durchlaufenen Raum	$\frac{0,462}{0,645} = 0,718.$		
Gebläſe des Hochofens zu Grand-Fontaine bei Framont (Vogeſen) mit einem Cylinder und warmer Luft.			
Durchmesser des Cylinders	1m,30		
Kolbenhub	1m,34		
Geſchwindigkeit des Kolbens	0m,64		
Durchmesser der Düſe	0m,08		
Temperatur nahe bei der Düſe	206°		
Druck des Windes über den der Atmosphäre in Queckſilberhöhe } nahe bei der Düſe	0m,032		
in dem Cylinder .	0m,065		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.		Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
		km	
Luftmenge von 206°, welche in 1″ in den Ofen kommt	$0^{mc},512$		
Diese reduzirt auf 15° und den atmosphärischen Druck	$0^{mc},317$	583	7,80
Höhe des Ofens; er wird mit Holzkohlen betrieben	$9^{m},10$		
Vom Kolben durchlaufener Raum	$0^{mc},852$		
Verhältniß der in den Ofen geblasenen Luftmenge zu diesem Raum	$\frac{0,317}{0,852} = 0,372$		
Produkt des Ofens in 1 Monat	60000 bis 70000 kil		
Gebläse der großen Schmiede zu Framont (Vogesen), das vier Feineisenfeuer bedient.			
Durchmesser des Cylinders	$1^{m},30$		
Kolbenhub	$1^{m},382$		
Geschwindigkeit des Kolbens	$0^{m},578$		
Pressung des Windes bei der Düse	$0^{m},04$		
Durchmesser der Düsen (eine bei jedem Feuer)	$0^{m},0347$		
Luftmenge, welche in 1″ in jedes Feuer kommt	$0^{mc},079$	675	9,00
Luftmenge, welche in 1″ in alle vier Feuer kommt	$0^{mc},316$		
Vom Kolben durchlaufener Raum	$0^{mc},756$		
Verhältniß der Luftmenge hierzu	$\frac{0,316}{0,756} = 0,417$		
Arbeit des Bewegers für jedes Feuer		169	2,25
Gebläse mit einem Cylinder zu Moulin-Neuf, bei Moyeuvre. Es bedient zwei Feineisen- und ein Schmiedfeuer.			
Durchmesser des Cylinders	$0^{m},86$		
Kolbenhub	$1^{m},30$		
Zahl der Kolbenhübe in 1″	23		
Geschwindigkeit des Kolbens in 1″	$0^{m},498$		
Durchmesser der Düsen (zwei bei jedem Feuer)	$0^{m},021$		
Pressung des Windes in der Leitung nahe bei den Düsen, Quecksilberhöhe	$0^{m},048$		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.		Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
		km	
Luftmenge in 1″	für die beiden Feineisenfeuer durch vier Düsen . . .	0mc,1219	
	für das Schmiedfeuer durch eine Düse	0mc,0303	
	Zusammen	0mc,1515	
Vom Kolben in 1″ durchlaufener Raum		0mc,298	
Verhältniß der ausgeblasenen Luftmenge hierzu	$\frac{0,1515}{0,298}$ = 0,508	430	5,75
Arbeit des Bewegers für jedes Feineisenfeuer . .		172	2,30
für das Schmiedfeuer . . .		86	1,15
Stirnhammer zu Framont (Vogesen).			
Gewicht des Hammers mit Helm . . .	2800k		
Hubhöhe des Mittels der Bahn über dem geschmiedeten Stück	0m,32 bis 0m,36		
Entfernung des Schwerpunkts von der Rotationsaxe	0m,935		
Zahl der Schläge in 1′	75	2250	30,00
Stirnhammer zu Moyeuvre (Mosel).			
Gesammtgewicht des Hammers	4900k		
Hubhöhe des Hammers über dem zu schmiedenden Stück	0m,22 bis 0m,25		
Zahl der Schläge in 1′	75	2800	37,25
Aufwerfhammer zu Framont (Vogesen).			
Gewichte: Hammer	325k		
Hülse	152		
Helm	198		
eiserne Reife	21		
	Zusammen 696k		
Hubhöhe des Hammers, von der Mitte der Bahn bis zu dem zu schmiedenden Barren gemessen	0m,45		
Entfernung des Schwerpunkts von der Rotationsaxe	1m,80		
Zahl der Schläge in 1′	90	750	10,00
	100	900	12,00

Art der Maschinen und allgemeine Daten.		Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
		km	
Aufwerfhammer mit Vorgelege und Schwungrad zu Framont.			
Gewicht: Hammer	285 kil		
Helm, Hülse und Reife	400		
Im Ganzen	685		
Hubhöhe des Mittels der Bahn über dem zu schmiedenden Stücke	0m,45		
Entfernung des Schwerpunkts von der Axe der Hülse	1m,45		
Zahl der Schläge in 1′	96	600	8
Aufwerfhammer zu Havange.			
Gewichte: Hammer	350 kil		
Helm und Eisenwerke	234		
Zusammen	584		
Hubhöhe des Hammers, Mitte der Bahn über dem zu schmiedenden Stücke	0m,45		
Entfernung des Schwerpunkts von der Rotationsaxe	1m,64		
Zahl der Schläge in 1′	112	975	13
Schwanzhammer der Hütte zu Framont (Vogesen)			
Gewichte: Hammer	84k		
Hülse	177		
Helm	210		
Eisenwerk	39		
Zusammen	510k		
Entfernung des Schwerpunktes von der Axe der Zapfen	0m,51		
Hubhöhe des Hammers (wie oben)	0m,25		
Zahl der Schläge in 1′	135	480	6,40
	150	565	7,54
Schwanzhammer für Stahl, für die Fabrikation der Sensen, Sägblätter ꝛc.			
Gewicht des Hammers allein	40k		
Hubhöhe des Hammers	0m,18		
Zahl der Schläge in 1′	324	448	5,90
Produkt in einem Monat: Stahl	3000k		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Größe der Arbeit der bewegenden Maschine.	Kraft der bewegenden Maschine nach Pferden.
	km	
Walzwerke für die Eisenfabrikation.		
Hütte zu Fourchambault.		
Zahl der thätigen Cylinderpaare { 4 Präparirwalzen } für Klein-; 4 Fertigmacher } Eisen.; 3 Schweißwalzen } für starkes; 3 Fertigmacher } Eisen.		
Zahl der Umläufe in 1′ { bei den großen Cylindern 60; " " kleinen " 140	3750-4500	50—60
Produkt in einem Monat 600000k		
Diese Walzwerke gehören zu 20 Puddel- und Schweißfeuern, von denen immer einige in Ausbesserung sind.		
Geriefte Walzen.		
Ein Gerüste mit zwei Walzen zum Schweißen und zwei Walzen zum Fertigmachen.		
Zahl der Umdrehungen der Cylinder in 1′ . 60		
Zahl der Oefen, welche hierdurch bedient werden { zum Puddeln 5 bis 6; " Schweißen 2		
Produkte der 5 Puddelöfen in einem Monat 300000k		
" " 2 Schweißöfen 300000	2500-2800	33—37
Blechwalzwerke.		
Zwei Walzwerke zu kleinen Blechen.		
Zahl der Umläufe in 1′ 50	1875-2250	25—30
Produkt in einem Monat 60000k		

Maschinen.	Dauer der Arbeit.	Produkte.	Verschiedene Angaben.	Größe der Arbeit des Bewegers.	Bewegende Kraft in Pferden.
				km	
Pulverfabriken.					
Pulverfabrik zu Angouleme.	h				
Zwei Mahlfässer für das Kleinen des Schwefels u. der Kohle.	12	Jagdpulver, 50 kil der binären Mischung. Stückpulver, 195 kil dieser Mischung.	Zahl der Umläufe der Fässer in 1′ 25 Länge der Fässer 1 m,20 Durchmesser 1 m,20	615	8,20
Zwei Fässer zum Kleinen des Gemenges aus Salpeter und Kohle.	12	Jagdpulver, 251 kil hiervon. Stückpulver, 525 kil hiervon.			
Zwei Mengtonnen für die 3fache Verbindung, mit Kugeln.	12	Jagdpulver, 100 kil.	Zahl der Umläufe in 1′ 25 Länge der Fässer 1 m,20 Durchmesser 1 m,20	218	2,90
Ein Paar gußeiserne Mühlsteine in messingenen Kränzen, zur Bereitung der Kuchen zu Jagdpulver.	10	Jagdpulver, 300 kil Kuchen.		411	5,49
Zwei cannelirte Walzen, um diese Kuchen in Staub zu verwandeln.	10	300 kil Staub.			
Ein Walzwerk, um diesen Staub in Kuchen zu drükken.	10	Jagdpulver, 700 kil Kuchen.		132	1,76
Eine Kuchenbreche.					
Vier cannelirte Walzen, um die zerschlagenen Kuchen zu körnen.	10	Jagdpulver, 300 kil.		327	4,36
Zwei Polirfässer.	12	400 kil polirte Körner.	Zahl der Umdrehungen in 1′ 20 bis 25	293	3,90

Maschinen.	Dauer der Arbeit. h	Produkte.	Verschiedene Angaben.	Bewegende Kraft in Pferden. Größe der Arbeit des Bewegers. km	—
Zwei Mengtonnen für die 3fache Verbindung, mit Kugeln.	12	Geschützpulver, 240kil in 2 Schichten zu 120kil.		271	3,62
Zwei Tonnen, um diese Verbindung in runde Körner zu verwandeln.	12	Geschützpulver, 700kil Körner.		474	6,32
Trockenanstalt mit Ventilator.	12	2000kil.		256	3,42
Pulverfabrik von Bouchet.					
6 Fässer zum Kleinen der binären Mengung.	4	Minenpulver, 36kil Kohle, 40 Schwefel, 76.	Die Fässer machen 20 bis 25 Umläufe in 1 Minute.		
	16	Jagdpulver, 21kil Kohlen, 15 Schwefel, 36.	6 Fässer in Bewegung 120kil Bronzekugeln in jedem Faß. Innerer Durchmesser der Fässer 1m,14 Länge 1 ,00	470	6,27
Zwei Fässer zum Mengen und Kleinen der 3 Bestandtheile, jedes in 2 gleiche Abtheilungen geschieden.	4	Minenpulver, 75kil Stoff, 120 Kugeln pr. Tonne, 150 zerkleinte Masse in 4 Stund.	Innerer Durchmesser der Fässer 1m,14 Länge einer Abtheilung 0 ,55 20 Umläufe in 1′.	188	2,50
	12	Jagdpulver, 50kil Masse, 120 Bronzekugeln pr. Faß, 100 zerkleinte Masse in 12 Stnd.	20 bis 25 Umläufe in 1′.	225 bis 250	3,00 bis 3,30
Mühlsteine von Bronze auf Holztafeln.	2	Jagdpulver, 50kil Kuchen in 2 Stunden.	Geschwindigkeit der Mühlsteine, 5 bis 6 Umläufe in 1′. Gewicht derselben 2500kil Durchmesser = 1m,50 / 1 ,20	217	2,90
Zwei Walzwerke zur Bildung der Kuchen.	1	90 bis 100kil Kuchen.	Dicke = 0m,45 / 0 ,45	114	1,52

Maschinen.	Dauer der Arbeit.	Produkte.	Verschiedene Angaben.	Größe der Arbeit des Bewegers.	Bewegende Kraft in Pferden.
	h			km	
Körnmaschine mit 8 Sieben.	12	Jagdpulver, 400 bis 450kil Kuchen geben 200kil Körner.	Die knieförmige Welle macht 70 bis 75 Umläufe in 1′.	112	1,50
Zwei Polirfässer, jedes mit 3 Abtheilungen von 0m,74 Länge.	24	Jagdpulver, feines. 150kil in jeder Abtheilung, 900 in 24 Stund.	Die Fässer machen 10 bis 12 Umläufe in 1′, während 8 Stunden, dann 18 bis 20 Umläufe in 1′.	480	6,40
	36	Feinstes Pulver, 900kil in 36 Stund.	Durchmesser der Fässer 1m,14		
Trockenanstalt mit 2 Tafeln.	3	200 pr. Tafel in 3 Stunden, das Pulver enthält 1,5% Feuchtigkeit.	Die Tafeln sind 2m,90 lang und 2m,21 breit. Der Ventilator macht 150 bis 160 Umläufe in 1′.	70 bis 75	1,00
Mühle mit 12 Stämpeln.	14	Kriegspulver, 120kil Composition in 11h, 120kil Staub zum zweitenmal in 3 Stunden. In 14 Stunden 112kil Körner.	Die Stämpel thun 56 Schläge in 1′. Ihr Gewicht ist 42kil. Ihre Hubhöhe 0m,40.	278	3,70
Ein Körnerfaß und 1 Polirfaß für das runde Minenpulver.		Minenpulver, 200kil Masse geben 100kil runde Körner in der Stunde. 250kil werden in 3 Stunden polirt.	12 Umläufe in 1′. Durchmesser der Fässer 1m,60 Länge 0m,52	210	2,80
Pulverfabrik von Esquerdes.					
Zwei Mühlsteine.	6	Jagdpulver, 20kil Materim.	Die Welle der Mühlen macht 8 bis 10 Umläufe in 1′.	473	6,3
Zwei Mühlsteine.		Feinstes Pulver, 20kil.	Das Gewicht der Mühlsteine 5500kil bis 5700kil.	572	7,6

Maschinen.	Dauer der Arbeit.	Produkte.	Verschiedene Angaben.	Größe der Arbeit des Bewegers.	Bewegende Kraft in Pferden.
	h			km	
Mühle mit 16 Stämpeln.	14	Kriegspulver, 160kil Composition werden 11 Stunden lang geschlagen und 160kil Staub wiederholt 3 Stunden. Erhalten werden 128kil Körner in 14 Stunden.	Die Stämpel thun 55 Schläge in 1′. Ihr Gewicht ist 40 kil Ihre Hubhöhe 0,40	353	4,7
Pulverfabrik zu Metz.					
Stampfmühle von St. Pierre.	11	Jeder Stempel 10kil Geschützpulver.	Gewicht d. Stämpel 40 kil Hubhöhe 0m,413 Zahl der Schläge jedes Stämpels in 1′ 55 Zahl der Stämpel 24	685	9,14
	24	Jagdpulver 8,33k.			
Mühle von St. Barbe.	11	Kriegspulver 10k.	Gewicht d. Stämpel 40 kil Hubhöhe 0m,413 Zahl der Schläge jedes Stämpels in 1′ 55		
	24	Jagdpulver 8,33k.	Zahl der thätigen Stämpel. 12	268	3,57
			18	445	5,91
			24	590	7,87
Zwei Polirtonnen.	24	Jagdpulver, 100kil für jede Tonne.	Zahl der Umgänge in 1′ 20 bis 27	157	2,10
Trockenanstalt.	12	Geschützpulver, 900kil.	Zwei Ventilatoren, jeder mit 4 Flügeln. Breite der Flügel 0m,48 Länge " " 2m,00 Zahl der Umgänge in 1′ 150 Aufwand an Steinkohle in 12 Stunden 900 kil Druck des Windes auf 1 Quadratcentimeter kil. 0,0005 bis 0,0006	140	1,87

Art der Maschinen und allgemeine Daten.			Arbeit des Bewegers.	Kraft des Bewegers in Pferden.
			km	
Waffenfabrik von Chatellerault.				
Hammer, um die doppelten Kolben für die Läufe der Infanteriegewehre zu schmieden.				
Gewicht des Hammers		135k		
" " Helms		190		
" der Hülse		93		
" " eisernen Reife		39		
	Zusammen . .	457k		
Ganze Länge des Helms		3m,85		
Entfernung der Hülsenaxe	vom Mittel der Bahn	2m,15		
	vom Schwanzring .	0m,97		
Hubhöhe des Mittels der Bahn		0m,30		
Zahl der Schläge in 1'		202	1070	14,26
Erzeugniß. Ein Schmiedmeister und sein Gehülfe fertigen in einem Monat 800 solche Kolben an.				
Anmerkung. Das Rad wiegt 21017 Kilogramm; dieses bedeutende Gewicht, das der Daumenwelle und die übermäßig starken Zapfen verursachen einen bedeutenden Verlust an Arbeit durch die Reibung. Ein Versuch mit der Bremse hat gezeigt, daß die Daumenwelle nur die Arbeit 785km oder 10,50 Pferdskräfte fortpflanzt; hiernach kann man für einen Hammer mit Vorgelege, bei passenderen Verhältnissen, die von der bewegenden Maschine fortzupflanzende Arbeit höchstens zu 900km oder 12 Pferdskräften annehmen.				
Schwanzhammer zum Ausstrecken der Plattnen zu den Läufen, nachdem die unter dem obigen Hammer erhaltenen Kolben in 2 Theile zerschnitten sind.				
Gewicht des Hammers		55k		
" " Helms		176		
" der Hülse		99		
" des Schwanzrings		32		
	Zusammen . .	362k		
Ganze Länge des Helms		2m,85		
Entfernung der Hülsenaxe	vom Mittel der Bahn	1m,77		
	vom Schwanzring .	0m,87		
Hub des Mittels der Bahn		0m,15		
Zahl der Schläge in 1'		210	322	4,30

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Arbeit des Bewegers km	Kraft des Bewegers in Pferden.
Anmerkung. Die Arbeit ist durch dieselben Ursachen wie bei der obigen Maschine vermindert; der Versuch mit der Bremse zeigte, daß die Daumenwelle nur 296km,5 oder 3,95 Pferdskräfte fortpflanze. Man kann daher für eine gutproportionirte Maschine 300km oder 4 Pferdskräfte rechnen.		
Schwanzhammer zum Raffiniren des Stahls.		
Gewicht des Hammers 55k		
" " Helms 176		
" der Hülse 99		
" des Schwanzrings 32		
Zusammen . . 362k		
Ganze Länge des Helms 2m,82		
Entfernung der Hülsenaxe { vom Mittel der Bahn 1m,71 / vom Schwanzring . 0m,85		
Hubhöhe des Mittels der Bahn 0m,25		
Zahl der Schläge in 1' 244	568	7,49
Anmerkung. Der Versuch mit der Bremse hat gezeigt, daß die auf die Daumenwelle fortgepflanzte Arbeit nur 388km oder 5,15 Pferdskräfte betrage. Für eine zweckmäßig angeordnete Maschine genügt es hiernach, daß der Beweger eine Arbeit von 450km oder 6 Pferdskräften fortpflanze, damit der Hammer 244 Schläge in 1' thue.		
Derselbe Hammer zum Schmieden der Schloßtheile.		
Zahl der Schläge in 1' 348	1119	15,80
Der Versuch mit der Bremse zeigte hier an der Daumenwelle nur die Arbeit 780km oder 10,4 Pferdskräfte. Daraus läßt sich schließen, daß eine wohlgebaute Maschine nur 900km oder 12 Pferdskräfte vom Beweger fortgepflanzte Arbeit erfordere.		
Erzeugniß. Der Hammer zum Stahlraffiniren bedient 2 Feuer, und liefert in einem Monat 1600 Stahlkolben zu Säbelklingen für die leichte Kavallerie, Modell von 1822, von denen eine 0kil,90 wiegt.		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.	Arbeit des Bewegers.	Kraft des Bewegers in Pferden.
	km	
Gebläse, das die Schmied- und Raffinirfeuer bedient.		
Zahl der durch die Maschine bedienten Feuer . . 6		
Druck des Windes in der Nähe der Düsen, in Kilogramm auf 1 Quadratcentimeter . . . $0^{kil},05$		
Durchmesser der Düsen . . . . . $0^{m},03$		
Zahl derselben 6		
Luftmenge, die in 1″ durch eine Düse geht . $0^{mc},061$		
Gesammte Luftmenge durch alle Düsen in 1″ $0^{mc},366$		
Wassermenge, welche in 1′ auf $5^{m},14$ gehoben wird . . . . . $0^{mc},121$	725	9,68
Die Erhebung des Wassers consumirt etwa 185km der Arbeit des Bewegers. Es bleiben also noch für die 6 Feuer 540km oder für jedes	90	1,20
Das Rad ist sehr schwerfällig, und das Gebläse für eine bedeutend größere Anzahl Feuer bestimmt, und es ist anzunehmen, daß bei zweckmäßigem Verhältniß eine Pferdskraft für jedes Schmied- oder Raffinirfeuer hinreiche.		
Schleifmühlen für die Läufe.		
Mühlsteine, Durchmesser . . . . . 2^{m}		
„ Dicke . . . . . $0^{m},32$		
„ Gewicht 2100k		
Ist der Durchmesser der Schleifsteine nur noch 1^{m}, so wirft man sie ab. Ein Mühlstein kann 1100 bis 1500 Läufe abschleifen.		
Zahl der Umläufe in 1′ 183		
Erzeugniß. Ein Arbeiter schleift in 10 Stunden 35 Läufe.		
Zahl der wirksamen Mühlsteine 2	773	10,38
Bohrbänke für die Flintenläufe.		
Zahl der Umläufe der Bohrer in 1′ 328		
Zahl der gebrauchten Bänke 12	588	7,84
Erzeugniß in 1 Monat: gebohrte Läufe zu Infanterieflinten 1000		

Art der Maschinen und allgemeine Daten.		Arbeit des Bewegers. km	Kraft des Bewegers in Pferden.
Drehstühle und verschiedene andere Maschinen.			
Zahl der vom Rad bewegten Maschinen:			
Drehstühle für die Läufe	2		
Maschinen, um 4 Läufe zugleich zu poliren .	1		
" " die Schloßtheile zu durchbohren	4		
" " den Hahn " "	1	12	657	8,69
Drehstühle für die Bajonetten	2		
Kleiner Schleifstein für die Werkzeuge . . .	1		
Bohrer für die Dillen	1		
Man hat außerdem noch eine andere Maschine zum Durchbohren der Hahnen, und eine zum Durchbohren der Schloßtheile, welche mit obigen abwechseln.			
Erzeugniß. Diese Maschinen bearbeiten, was zu den 1000 gebohrten und geschliffenen Läufen gehört.			
Anmerkung. Die angegebenen Größen der Arbeit sind die, welche man unmittelbar auf die Axen der angegebenen Maschinen übertragen muß.			
Treibt das Wasserrad die ganze Fabrik, so ist sein Nutzeffekt		2420	32,20
Die passiven Widerstände des Rades und die Stücke, welche man den Beobachtungen nicht unterwerfen konnte, consumirten hiernach eine Kraft von 5,1 Pferden ungefähr.			
Walzwerke für die Bleche zu den Küraſſen.			
Cylinder, Durchmesser	$0^m,378$		
" Länge	$0^m,735$		
" Gewicht	900kil		
" Zahl der Umläufe in 1′	22,5		
Schwungrad, äußerer Durchmesser	$3^m,910$		
" Gewicht des Kranzes	6720kil		
" Zahl der Umläufe in 1′ . . .	87		
Erzeugniß. In 10 Stunden walzt man 40 Platten aus. Jeder Kolben erhält 4 Hitzen und geht ungefähr 30 mal durch die Walzen		812	10,80

Art der Maschinen und allgemeine Daten.		Arbeit des Bewegers.	Kraft des Bewegers in Pferden.
		km	
Anmerkung. Dieses Rad scheint etwas zu schwach für dieses Walzwerk zu seyn; sein Gang verlangsamert sich bei dem Durchgang der Stäbe, und es scheint zweckmäßig, die Walzen schneller, wenigstens 30 mal in der Minute umgehen zu lassen. Hiernach müßte man ein Rad von etwa 18 Pferdskräften haben.			
Waffenfabrik zu Tulle.			
Drehbänke für die Läufe	4		
Schleifstein für die Läufe	1	619	8,25
Kleiner Schleifstein für die Werkzeuge	1		
Schwanzhammer		375	5,00
Gebläse		107,5	1,50
Drehbänke für Flintenläufe	3		
" " Pistolenläufe	2	300	4,0
Apparat zur Herstellung der Pfannen	1		
Drehstuhl zum Einpassen	1		

Mittelwerthe der specifischen Gewichte.

Namen der Körper.	Specifisches Gewicht.	Namen der Körper.	Specifisches Gewicht.
Wasser	1.00	Glas, weißes	2.94
Queckfilber	13 58	Ahorn	0.70
Blei	11.34	Birke	0.74
Zinn	7.29	Birnbaum	0.69
Kupfer	8.54	Buche (Rothbuche) . .	0.77
Zink	7.02	Eiche	0.91
Messing	8.15	" , durchnäßt . . .	0.99
Gußeisen	7.25	Fichte und Tanne . . .	0.60
Schmiedeisen	7.72	" " " durchnäßt	0.72
Stahl	7.75	Föhre	0.76
Kalkstein	2.6	Lärche	0.56
Marmor	2.8	Linde	0.58
Sandstein	2.4	Mahagoni	0.80
Granit	2.7	Pockholz (Guajac) . .	1.30
Mauerziegel	2.0	Weißbuche	0.75
Porzellan	2.3	Kork	0.24
Glas, grünes	2.64		

Tafel der neuen französischen Maße.

Namen.	Werth.
Wegmaße.	
Myriameter	10000 Meter.
Kilometer	1000 „
Decameter	10 „
Meter	Die Grundeinheit der Maße und Gewichte; der 10000000ste Theil des Quadranten eines Erdmeridians.
Längenmaße.	
Decimeter	0,1 Meter.
Centimeter	0,01 „
Millimeter	0,001 „
Feldmaße.	
Hectare	10000 Quadratmeter.
Are	100 „
Centiare	1 „
Hohlmaße.	
Kiloliter	1 Kubikmeter oder 1000 Kubikdecimeter.
Hectoliter	100 Kubikdecimeter.
Decaliter	10 „
Liter	1 „
Deciliter	0,1 „
Holzmaße.	
Ster	1 Kubikmeter.
Decister	0,1 „
Gewichte.	
Millier	1000 Kilogr. (Schiffstonne).
Centner	100 Kilogramm.
Kilogramm	Gewicht eines Kubikdecimeters Wasser von der Temperatur 4° C.
Hectogramm	0,1 Kilogramm.
Decagramm	0,01 „
Gramm	0,001 „
Decigramm	0,0001 „

Reduktion des preußischen Maßes in französisches, und umgekehrt.

Verwandlung der Fuße, Zolle und Linien in Meter.

Fuß.	Meter.	Fuß.	Meter.	Zoll.	Meter.	Linien.	Meter.
1	0.3139	40	12.5542	1	0.02615	1	0.00218
2	0.6277	50	15.6927	2	0.05232	2	0.00436
3	0.9416	60	18.8312	3	0.07846	3	0.00654
4	1.2554	70	21.9698	4	0.10462	4	0.00872
5	1.5693	80	25.1083	5	0.13077	5	0.01090
6	1.8831	90	28.2469	6	0.15693	6	0.01308
7	2.1970	100	313.854	7	0.18308	7	0.01526
8	2.5108	200	627.708	8	0.20924	8	0.01744
9	2.8247	300	941.562	9	0.23539	9	0.01962
10	3.1385	400	1255.416	10	0.26154	10	0.02179
20	6.2771	500	1569.270	11	0.28780	11	0.02397
30	9.4156	600	1883.124	12	0.31385	12	0.02615

Verwandlung der Meter in Fuße, Zolle und Linien.

Meter.	Fuß.	Zoll.	Linien.	Meter.	Fuß.	Zoll.	Linien.
0.001	—	—	0.46	0.1	—	3	9.88
0.002	—	—	0.92	0.2	—	7	7.76
0.003	—	—	1.38	0.3	—	11	5.64
0.004	—	—	1.84	0.4	1	3	3.52
0.005	—	—	2.29	0.5	1	7	1.41
0.006	—	—	2 75	0.6	1	10	11.29
0.007	—	—	3.21	0.7	2	2	9.17
0.008	—	—	3.67	0.8	2	6	7.05
0.009	—	—	4.13	0.9	2	10	4.93
0.01	—	—	4.59	1	3	2	2.8
0.02	—	—	9.18	2	6	4	5.6
0.03	—	1	1.76	3	9	6	8 4
0.04	—	1	6.35	4	12	8	11.2
0.05	—	1	10.94	5	15	11	2.1
0.06	—	2	3.53	6	19	1	4.9
0.07	—	2	8.12	7	22	3	7.7
0.08	—	3	0.70	8	25	5	10.5
0.09	—	3	5.29	9	28	8	1.3
10m	31	10	4	60m	191	2	1
20	63	8	8	70	223	0	5
30	95	7	0	80	254	10	9
40	127	5	4	90	286	9	1
50	159	3	8	100	318	7	5

Verwandlung der Quadratfuße in Quadratmeter, und umgekehrt.

Quadratfuß.	Quadratmeter.	Quadratmeter.	Quadratfuß.
1	0.09850	1	10.152
2	0.19700	2	20.304
3	0.28551	3	30.456
4	0.39401	4	40.608
5	0.49251	5	50.761
6	0.59102	6	60.913
7	0.68952	7	71.065
8	0.78802	8	81.217
9	0.88653	9	91.369
10	0.98501	10	101.521

Verwandlung der Kubikfuße in Kubikmeter, und umgekehrt.

Kubikfuß.	Kubikmeter.	Kubikmeter.	Kubikfuß.
1	0.030916	1	32.347
2	0.061831	2	64.693
3	0.092747	3	97.040
4	0.123663	4	129.386
5	0.154578	5	161.733
6	0.185494	6	194.080
7	0.216410	7	226.426
8	0.247326	8	258.773
9	0.278241	9	291.119
10	0.309157	10	323.466

Reduktion der Pfunde in Kilogramme, und umgekehrt.

Pfund.	Kilogramm.	Kilogramm.	Pfund.
1	0.46771	1	2.1381
2	0.93541	2	4.2763
3	1.40312	3	6.2144
4	1.87083	4	8.5525
5	2.33854	5	10.6907
6	2.80624	6	12.8288
7	3.27395	7	14.9669
8	3.74166	8	17.1050
9	4.20936	9	19.2432
10	4.67707	10	21.3813

Reduktion des nieder-östreichischen Maßes in französisches, und umgekehrt.

Verwandlung der Fuße, Zolle und Linien in Meter.

Fuß.	Meter.	Fuß.	Meter.	Zoll.	Meter.	Linien.	Meter.
1	0.3161	40	12.6441	1	0.02634	1	0.00220
2	0.6322	50	15.8052	2	0.05268	2	0.00439
3	0.9483	60	18.9662	3	0.07903	3	0.00659
4	1.2644	70	22.1272	4	0.10537	4	0.00878
5	1.5805	80	25.2882	5	0.13171	5	0.01098
6	1.8966	90	28.4493	6	0.15805	6	0.01317
7	2.2127	100	31.6103	7	0.18439	7	0.01537
8	2.5288	200	63.2206	8	0.21074	8	0.01756
9	2.8449	300	94.8309	9	0.23708	9	0.01976
10	3.1610	400	126.441	10	0.26342	10	0.02195
20	6.3221	500	158.052	11	0.28976	11	0.02415
30	9.4831	600	189.662	12	0.31610	12	0.02634

Verwandlung der Meter in Fuße, Zolle und Linien.

Meter.	Fuß.	Zoll.	Linien.	Meter.	Fuß.	Zoll.	Linien.
0:001	—	—	0.46	0.1	—	3	9.55
0.002	—	—	0.91	0.2	—	7	7.10
0.003	—	—	1.37	0.3	—	11	4.65
0.004	—	—	1.82	0.4	1	3	2.20
0.005	—	—	2.28	0.5	1	6	11.75
0.006	—	—	2.73	0.6	1	10	9.30
0.007	—	—	3.19	0.7	2	2	6.85
0 008	—	—	3.64	0.8	2	6	4.40
0.009	—	—	4.10	0.9	2	10	1.95
0.01	—	—	4.55	1	3	1	11.6
0.02	—	—	9.11	2	6	3	11.1
0.03	—	1	1.66	3	9	5	10.7
0.04	—	1	6.22	4	12	7	10.2
0.05	—	1	10.77	5	15	9	9.8
0.06	—	2	3.33	6	18	11	9.3
0.07	—	2	7.88	7	22	1	8.8
0.08	—	3	0.44	8	25	3	8.3
0.09	—	3	4.99	9	28	5	7.9
10m	31	7	7	60m	189	9	9
20	63	3	3	70	221	5	4
30	94	10	10	80	253	1	0
40	126	6	6	90	284	8	7
50	158	2	1	100	316	4	3

Verwandlung der nieder-öſtreichiſchen Quadratfuße in Quadratmeter, und umgekehrt.

Quadratfuß.	Quadratmeter.	Quadratmeter.	Quadratfuß.
1	0.099930	1	10.0070
2	0.199861	2	20.0139
3	0.299791	3	30.0209
4	0.399721	4	40,0279
5	0.499652	5	50.0349
6	0.599582	6	60.0418
7	0.699512	7	70.0488
8	0.799442	8	80.0558
9	0.899373	9	90.0627
10	0.999303	10	100.0697

Verwandlung der nieder-öſtreichiſchen Kubikfuße in Kubikmeter, und umgekehrt.

Kubikfuß.	Kubikmeter.	Kubikmeter.	Kubikfuß.
1	0.031590	1	31.656
2	0.063179	2	63.312
3	0.094769	3	94.968
4	0.126359	4	126.624
5	0.157949	5	158.279
6	0.189538	6	189.935
7	0.221128	7	221.591
8	0.252718	8	253.247
9	0.284307	9	284.903
10	0.315897	10	316.559

Verwandlung der Wiener Pfunde in Kilogramme und umgekehrt.

Pfund.	Kilogramm.	Kilogramm.	Pfund
1	0.56001	1	1.7857
2	1.12002	2	3.5714
3	1.68004	3	5.3571
4	2.24005	4	7.1428
5	2.80006	5	8.9285
6	3.36007	6	10.7141
7	3.92008	7	12 4998
8	4.48010	8	14.2855
9	5.04011	9	16.0712
10	5.60012	10	17,8569

Bayerische Staatsbibliothek München

Tabelle zur Vergleichung mehrerer Maße und Gewichte.

Ort.	1 Fuß gleich.	1 Quadratfuß.	1 Kubikfuß.	1 Pfund.	1 Kubikfuß Wasser wiegt.	1 Pferdskraft von 75km.	Werth von g.
	Meter.	Quadratmeter.	Kubikmeter.	Kilogramm	Pfund	Pfd. auf 1 Fuß.	Fuß.
Baden*) . .	0.300000	0.090000	0.02700	0.50000	54.0	500	32.70
Baiern . . .	0.291859	0.085184	0.02486	0.56001	44.4	459	33.61
Braunschweig	0.285362	0.081430	0.02324	0.46745	49.7	562	34.37
Cassel	0.284911	0.081174	0.02313	0.48405	47.8	544	34.42
Darmstadt .	0.250000	0.062500	0.01563	0.50000	31.25	600	39.24
Dresden . .	0.283260	0.080236	0.02273	0.46693	48.7	567	34.91
Hannover . .	0.291995	0.085261	0.02489	0.48960	50.8	525	33.59
London . . .	0.304795	0.092900	0.02832	0.45341	62.4	543	32.18
Paris	0.324840	0.105500	0.03428	0.48951	70.0	472	30.20
Preußen . .	0.313854	0.098503	0.03092	0.46771	66.0	510	31.25
Wien	0.316103	0 099930	0.03159	0.56001	56.4	424	31.03
Würtemberg	0.286490	0.082077	0.02351	0.46992	50.0	557	34.24

*) Das nämliche Maß und Gewicht ist das neue schweizerische.

Bayerische Staatsbibliothek München

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Morin, Arthur Jules,

Morin's Hilfsbuch des praktischen Mechanikers zum Gebrauche von Artillerieoffizieren, Civil- und Militäringenieuren

Karlsruhe 1844

BHS III 48
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10708306-0